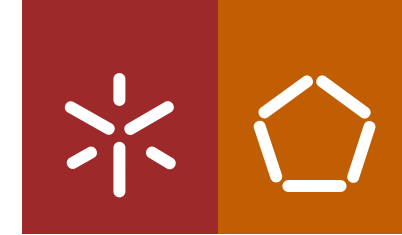




Joni de Jesus da Costa Gomes

Simulação dinâmica detalhada de um  
grande edifício no âmbito do RSECE

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia







Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Joni de Jesus da Costa Gomes

Simulação dinâmica detalhada de um  
grande edifício no âmbito do RSECE

Tese de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor Luís Barreiros Martins

Dezembro de 2012

## DECLARAÇÃO

Nome: Joni de Jesus da Costa Gomes

Correio electrónico: a52767@alunos.uminho.pt

Tel./Tlm.: 967132093

Número do Bilhete de Identidade: 13581191

Título da dissertação:

Simulação dinâmica detalhada de um grande edifício no âmbito do RSECE

Ano de conclusão: 2012

Orientador(es): Luís Barreiros Martins

Designação do Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Área de Especialização: Energia e Ambiente

Escola: Escola de Engenharia

Departamento: Departamento de Engenharia Mecânica

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Guimarães, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Os meus agradecimentos vão para todos aqueles que contribuíram, directa ou indirectamente para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais pelo carinho, amor, apoio nas horas difíceis e pela força que eles sempre me deram confiando no meu trabalho. Todas as horas que passei no “Café Avenida”, ajudando os meus pais, contribuíram para a pessoa que sou hoje.

Agradeço ao meu irmão que sempre esteve ao meu lado, como irmão, amigo e companheiro. Muitas vezes me desafiou para jogos de FIFA 12, percebendo que necessitava de fazer uma pausa, derivado às várias horas seguidas de trabalho.

Agradeço à minha namorada, Patrícia Almeida, por todo o apoio que me deu, pelo incentivo e paciência que teve por todas as vezes que queria ir ao Shopping e eu ter que recusar os seus pedidos.

Agradeço aos meus amigos, Manuel Lopes e Ricardo Lima “Broas”, por terem partilhado comigo durante estes anos toda a habitação que tanto deixará saudades. Um obrigado por me terem “pressionado” a ser o cozinheiro da casa.

Agradeço aos meus amigos, Rafael Esteves “Francês”, João Areias, Vítor Santos “Bitinho”, Miguel Meira, Gustavo Desterro, André Ferreira “Anita”, Diogo Esteves “Tozé”, Cristiano Carvalho “Bolotas”, Tiago Vilaça “Bananas” e Marino Machado, pelo convívio e por todas as cacetadas que me deram durante os jogos de futebol.

Agradeço aos meus amigos de longa data, Cristiano Coutinho, Renato Varino, Sérgio Neves, Daniela Ribeiro, Ivone Coutinho e Marta Pereira, pelo apoio e convívio aos fins-de-semana.

Agradeço ao Professor Luís Martins pela escolha do tema, coordenação, orientação e todo o tempo que dispensou para que este projecto se desenvolvesse da melhor maneira. Agradeço ao António Alves pela ajuda prestada, pelos conhecimentos transmitidos e por todo o tempo que dispensou, conciliando o seu emprego com a ajuda que me foi dando ao longo do ano.

---

## RESUMO

A entrada em vigor da legislação que rege o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (SCE), transpõe a Directiva Europeia 2002/91/CE, veio exigir o cálculo dos consumos de energia por parte dos edifícios residenciais e de serviços. O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) exige que as simulações dinâmicas detalhadas dos edifícios realizadas no âmbito do SCE sejam efectuadas com programas devidamente acreditados segundo a Norma ASHRAE 140-2004.

O estudo inicia-se com uma revisão bibliográfica que inclui uma abordagem sobre a regulamentação térmica de edifícios em Portugal, uma breve caracterização dos sistemas de climatização, apresentação dos métodos de cálculo de cargas térmicas utilizados nos programas de simulação e análise das principais características de algumas ferramentas de simulação existentes de modo a seleccionar o programa de simulação dinâmica multizona a utilizar no caso de estudo, para comparação com o programa de simulação monozona *STE* do *LNEG*.

Derivado da revisão bibliográfica efectuada optou-se pela utilização do programa de simulação multizona *Cypeterm*, devido à sua flexibilidade de modelação, utilização nos gabinetes de Engenharia em Portugal, modelação da base de dados climática, acompanhamento técnico e utilização como motor de cálculo do *EnergyPlus* de modo a realizar a simulação térmica e energética do edifício.

O modelo para o edifício foi parametrizado de acordo com as opções disponibilizadas pelos programas, de forma o mais semelhante possível. Foram avaliadas as principais diferenças e semelhanças entre os resultados obtidos pelos programas.

Após os resultados obtidos verificou-se que a simulação dinâmica multizona é mais eficaz que a simulação unizona, no que diz respeito à determinação das necessidades e consumos energéticos específicos, bem como para o dimensionamento de sistemas de climatização do edifício. Após a primeira análise de resultados é possível introduzir melhorias no projecto, de modo a que as perdas do edifício diminuam e que os consumos sejam também mais reduzidos. A simulação dinâmica é fundamental no caso dos edifícios existentes, pois permite avaliar as poupanças energéticas e económicas associadas às diversas possibilidades de melhoria e, deste modo, avaliar a oportunidade da sua implementação.





## **ABSTRACT**

The validation of the legislation governing the National Energy Certification and Indoor Air Quality in Buildings (SCE), transposed the European Directive 2002/91/EC and came to require the calculation of energy consumption by the residential buildings and services. The Regulation of the Energy Systems in Buildings HVAC (RSECE) requires that detailed dynamic simulations of buildings under SCE must be done with programs accredited according to ASHRAE Standard 140-2004.

The study begins with a literature review that includes a discussion of the thermal regulation of buildings in Portugal, a brief characterization of HVAC systems, presentation of the methods of calculating thermal loads used in simulation programs and analysis of the main characteristics of some existing simulation tools in order to select the dynamic multizone simulation program to be used in the case study, for comparison with the monozone simulation program STE LNEG.

Derived from the literature review carried out it was decided to use the multizone simulation program Cypeterm, due to its flexibility of modeling, using in the offices of Engineering in Portugal, climate database modeling, technical monitoring and using as calculation engine of the EnergyPlus in order to perform the thermal and energy simulation of the building.

The model for the building was parameterized according to the options provided by the programs, as similar as possible. It was evaluated the main differences and similarities between the results obtained by the programs.

After the results obtained it was found that the dynamic simulation multizone is more effective than the unizone simulation, with regard to determination of the specific requirements and energy consumption as well as for the design of cooling systems of the building. After the first analysis results it's possible to introduce improvements in the design, so that the losses of the building reduce, making the consumption also reduced. Dynamic simulation is essential in the case of existing buildings, as it allows evaluating the economic and energy savings associated to the several possibilities of improvement and by this way to evaluate the appropriateness of its implementation.

---

## ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE GERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABELAS .....	xxi
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xxiii
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xxvii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento .....	3
1.2. Motivação .....	4
1.3. Objectivos.....	5
1.4. Estrutura do trabalho .....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
2.1. Introdução .....	9
2.2. Regulamentação térmica de edifícios em Portugal .....	9
2.2.1. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior nos Edifícios – SCE.....	11
2.2.1.1. Organização, objectivos e funcionamento do SCE .....	11
2.2.1.2. Certificado energético de edifícios.....	12

---

2.2.2. Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)	13
2.2.2.1. Objectivos do RCCTE.....	14
2.2.3. Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE)	14
2.2.3.1. Objectivos do RSECE.....	14
2.2.3.2. Tipos de edifícios abrangidos pelo RSECE.....	15
2.3. Sistemas de Climatização .....	15
2.3.1. Sistemas “Tudo Ar” .....	16
2.3.1.1. Sistemas com volume de ar constante (VAC) .....	17
2.3.1.2. Sistemas com volume de ar variável (VAV) .....	19
2.3.1.3. Sistemas com duas condutas de insuflação .....	20
2.3.2. Sistemas a ar e água .....	21
2.3.2.1. Sistemas com ventiloconvectores .....	22
2.3.2.1.1. Sistemas a 2 tubos .....	23
2.3.2.1.2. Sistemas a 4 tubos .....	23
2.3.2.2. Sistemas com injectoconvectores ou com vigas arrefecidas .....	24
2.3.2.3. Sistemas com pavimento radiante .....	25
2.3.2.4. Sistemas com tecto ou paredes radiantes.....	26
2.3.3. Sistemas de expansão directa .....	27
2.3.3.1. Sistemas individuais.....	27
2.3.3.2. Sistemas “ <i>multi-split</i> ” .....	27

---

2.3.3.3.	Sistemas Volume de Refrigerante Variável (“VRF”) .....	27
2.4.	Métodos de cálculo de cargas térmicas em programas .....	28
2.4.1.	Método da diferença de temperatura diferencial (TETD/TA) .....	31
2.4.2.	Método das funções de transferência (TFM) .....	31
2.4.3.	Método da diferença de temperatura (CLTD/SCL/CLF) .....	32
2.4.4.	Método do balanço energético (HBM).....	32
2.4.5.	Método das séries temporais radiactivas (RTS) .....	33
2.5.	Simulação dinâmica - Norma ASHRAE 140-2004 .....	34
2.6.	Programas de simulação dinâmica detalhada .....	36
2.6.1.	RCCTE-STE.....	36
2.6.1.1.	Funcionamento .....	38
2.6.1.2.	Limitações do programa.....	39
2.6.2.	CYPETERM .....	40
2.6.2.1.	Regulamento.....	41
2.6.2.2.	Funcionamento .....	41
2.6.3.	EnergyPlus .....	43
2.6.4.	DesignBuilder .....	46
2.6.4.1.	Características .....	46
2.6.4.2.	Funcionalidades .....	47
2.6.5.	Trace 700 .....	47
2.6.5.1.	Funcionamento .....	48

---

2.6.6.	TRNSYS.....	49
2.6.6.1.	Estrutura.....	50
2.6.6.1.1.	Simulation Studio.....	50
2.6.6.1.2.	TRNBuild .....	52
2.6.7.	Carrier HAP .....	52
2.6.8.	VisualDOE4.1 .....	54
2.6.9.	DOE2.1e .....	55
2.6.10.	ESP-r.....	56
2.6.11.	Comparação entre programas.....	58
3.	CASO DE ESTUDO .....	61
3.1.	Caracterização do Edifício .....	63
3.2.	Zona Climática.....	64
3.3.	Enquadramento regulamentar .....	66
3.4.	Caracterização dos elementos da envolvente .....	67
3.4.1.	Pavimentos em contacto com o terreno .....	67
3.4.1.1.	Laje_1 .....	68
3.4.1.2.	Laje_2 .....	69
3.4.1.3.	Laje_3 .....	70
3.4.2.	Muros em contacto com o terreno .....	71
3.4.2.1.	Par_Ext_Cave_1 .....	72
3.4.2.2.	Par_Ext_Cave_2 .....	73

---

3.4.3.	Elementos opacos das fachadas .....	75
3.4.3.1.	Par_Ext_1.....	75
3.4.3.2.	Par_Ext_2.....	76
3.4.3.3.	Par_Ext_3.....	77
3.4.3.4.	Par_Ext_4.....	78
3.4.3.5.	Par_Ext_5.....	80
3.4.3.6.	Par_Ext_6.....	81
3.4.4.	Coberturas .....	82
3.4.4.1.	Cob_1 .....	82
3.4.4.2.	Cob_2 .....	83
3.4.5.	Compartimentação Interior .....	85
3.4.5.1.	Par_Int_1 .....	85
3.4.5.2.	Par_Int_2 .....	86
3.4.5.3.	Par_Int_3 .....	87
3.4.5.4.	Par_Int_4 .....	88
3.4.5.5.	Par_Int_5 .....	89
3.4.5.6.	Par_Int_6 .....	90
3.4.5.7.	Par_Int_7 .....	91
3.4.6.	Envidraçados.....	92
3.4.7.	Inércia térmica .....	94
3.4.8.	Pontes térmicas.....	95

3.5.	Sistema de Climatização .....	96
3.6.	Águas Quentes Sanitárias (AQS) .....	98
3.7.	Caracterização dos espaços – análise nominal .....	99
3.7.1.	Ocupação .....	99
3.7.2.	Caudais mínimos de ar novo .....	100
3.7.3.	Iluminação .....	101
3.7.4.	Equipamentos .....	101
3.8.	Caracterização dos espaços – análise real .....	102
3.8.1.	Ocupação .....	102
3.8.2.	Caudais mínimos de ar novo .....	103
3.8.3.	Iluminação .....	103
3.8.4.	Equipamentos .....	103
4.	SIMULAÇÃO .....	105
4.1.	Introdução .....	107
4.2.	Simulação RCCTE-STE .....	107
4.2.1.	Caracterização do Edifício .....	108
4.2.2.	Caracterização da Fracção Autónoma .....	108
4.2.2.1.	Caso 1 e 2 .....	108
4.2.2.2.	Caso 3 .....	109
4.2.3.	Soluções de construção .....	110
4.2.3.1.	Caso 1 e 2 .....	110



4.2.3.2.	Caso 3.....	110
4.2.4.	Caracterização de espaços úteis .....	110
4.2.4.1.	Caso 1 e 2.....	110
4.2.4.2.	Caso 3.....	111
4.2.5.	Ocupação.....	112
4.2.5.1.	Caso 1.....	112
4.2.5.2.	Caso 2.....	113
4.2.5.3.	Caso 3.....	113
4.2.6.	Iluminação .....	113
4.2.6.1.	Caso 1 e 2.....	113
4.2.6.2.	Caso 3.....	113
4.2.7.	Equipamento .....	114
4.2.7.1.	Caso 1.....	114
4.2.7.2.	Caso 2.....	114
4.2.7.3.	Caso 3.....	114
4.2.8.	Ventilação.....	114
4.2.8.1.	Caso 1 e 2.....	114
4.2.8.2.	Caso 3.....	116
4.2.9.	Temperatura de referência de aquecimento e arrefecimento.....	116
4.2.10.	AQS.....	116
4.2.10.1.	Caso 1 e 2.....	116

---

4.2.10.2. Caso 3.....	118
4.2.11. Outros consumos.....	119
4.2.12. Base de dados climáticos.....	119
4.2.13. Resultados.....	119
4.3. Simulação Cypeterm/EnergyPlus .....	121
4.3.1. Descrição do Edifício.....	122
4.3.2. Elementos .....	122
4.3.3. Compartimentos.....	123
4.3.4. Fracção autónoma.....	125
4.3.5. Climatização.....	125
4.3.6. Base de dados climáticos .....	127
4.3.7. Resultados.....	127
4.4. Comparação de resultados.....	134
4.4.1. IEE .....	134
4.4.2. Necessidades energéticas.....	139
4.5. Análise de resultados .....	140
5. CONCLUSÕES.....	143
6. FONTES BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXO A – TIPO DE ENVOLVENTES .....	153
ANEXO B – INÉRCIA TÉRMICA.....	157
ANEXO C – LISTAGENS DO SOLTERM .....	161

---

ANEXO D – CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO .....	169
ANEXO E – PERFIS NOMINAIS.....	173
ANEXO F – PERFIS REAIS.....	179
ANEXO G – PERFIS MÉDIOS REAIS (CYPETERM) .....	189
ANEXO H – SOLUÇÕES DE CONSTRUÇÃO (STE) .....	197
ANEXO I – CARGAS TÉRMICAS .....	205



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Modelo de Certificado Energético de um edifício (reproduzido de ADENE, 2012)..	13
Figura 2.2 - Diagrama de princípio de funcionamento de um sistema de climatização “tudo ar” de uma só zona (reproduzido de Carapito, 2011). .....	17
Figura 2.3 – Diagrama de instalação do tipo “tudo ar” com baterias de reaquecimento (reproduzido de Carapito, 2011). .....	18
Figura 2.4 – Diagrama de instalação do tipo VAV (reproduzido de Carapito, 2011). .....	19
Figura 2.5 – Diagrama de instalação do sistema “tudo ar” com duas condutas de insuflação (reproduzido de Carapito, 2011). .....	20
Figura 2.6 – Exemplos de ventiloconvectores (reproduzido de Carapito, 2011). .....	22
Figura 2.7 – Sistema de climatização a ar e água, a 2 tubos, com ventiloconvectores (reproduzido de Carapito, 2011). .....	23
Figura 2.8 – Sistema de climatização a ar e água, a 4 tubos, com ventiloconvectores (reproduzido de Carapito, 2011). .....	24
Figura 2.9 – Princípio de funcionamento de um injectoconvector (reproduzido de Carapito, 2011).....	25
Figura 2.10 – Princípio de funcionamento de uma “viga arrefecida” (reproduzido de Carapito, 2011).....	25
Figura 2.11 – Sistema de aquecimento e arrefecimento com pavimento radiante (reproduzido de Carapito, 2011). .....	26
Figura 2.12 – Sistema de aquecimento e arrefecimento com paredes e tecto radiante (reproduzido de Solius, 2012). .....	26
Figura 2.13 – Exemplo de uma instalação de um sistema “ <i>multi-split</i> ” (reproduzido de aireacondicionado, 2012). .....	27
Figura 2.14 – Exemplo de uma instalação de um sistema “VRV” (reproduzido de friclíma, 2012). .....	28
Figura 2.15 – Circuito analogia reo-eléctrica do funcionamento do programa RCCTE-STE (reproduzido de Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, 2006). .....	36
Figura 2.16 – Primeira fase de introdução de dados do programa RCCTE-STE.....	39
Figura 2.17 – Segunda fase de introdução de dados do programa RCCTE-STE. ....	39
Figura 2.18 – Ambiente de trabalho do Cypeterm (reproduzido de Top Informática, 2012). ....	41

---

Figura 2.19 – Módulo de climatização no programa Cypeterm (reproduzido de Top Informática, 2012).....	43
Figura 2.20 – Esquema geral de funcionamento do <i>EnergyPlus</i> (reproduzido de Gouveia, 2008) .....	45
Figura 2.21 – Comandos do programa <i>DesignBuilder</i> (reproduzido de CapturaIncreible, 2010). .....	46
Figura 2.22 – Processo de modelação efectuado no <i>TRACE 700</i> (reproduzido de Santos, 2009). .....	49
Figura 2.23 – Interface do programa <i>Simulation Studio</i> (reproduzido de Costa, 2012). .....	51
Figura 2.24 – Interface do programa <i>TRNBuild</i> (reproduzido de Costa, 2012). .....	52
Figura 2.25 – Módulo “Explorer” do <i>Carrier HAP</i> (reproduzido de CarrierHAP, 2012). .....	53
Figura 2.26 – Interface do programa <i>VisualDOE</i> (reproduzido de U.S. Department of Energy, 2012).....	54
Figura 2.27 – Visualização 3D de um edifício (reproduzido de Architectural Energy, 2012). ....	54
Figura 2.28 – Funcionamento do programa <i>DOE-2</i> (reproduzido de DOE-2, 1990).....	55
Figura 2.29 – Módulos de modelação do edifício e análise de resultados utilizados no <i>ESP-r</i> (reproduzido de Energy Systems Research Unit, 2012) .....	57
Figura 3.1 – Museu da Geira (reproduzido de Carvalho Araújo, 2012) .....	63
Figura 3.2 – Compartimentos e delimitação da zona útil e não útil do Museu. ....	64
Figura 3.3 – Orientação do edifício de acordo com a planta. ....	64
Figura 3.4 – Pavimentos do edifício. ....	68
Figura 3.5 – Pormenor do pavimento – Laje_1. ....	68
Figura 3.6 – Pormenor do pavimento – Laje_2. ....	69
Figura 3.7 – Pormenor do pavimento – Laje_3. ....	71
Figura 3.8 – Muros em contacto com o terreno.....	72
Figura 3.9 – Pormenor de muros em contacto com o terreno – Par_Ext_Cave_1. ....	72
Figura 3.10 – Pormenor de muros em contacto com o terreno – Par_Ext_Cave_2. ....	74
Figura 3.11 – Paredes exteriores do edifício. ....	75
Figura 3.12 – Pormenor das paredes exteriores – Par_Ext_1. ....	75
Figura 3.13 – Pormenor das paredes exteriores – Par_Ext_2. ....	76
Figura 3.14 – Pormenor das paredes exteriores – Par_Ext_3. ....	78
Figura 3.15 – Pormenor das paredes exteriores – Par_Ext_4. ....	79

---

Figura 3.16 – Pormenor das paredes exteriores – Par_Ext_5. ....	80
Figura 3.17 – Pormenor das paredes exteriores – Par_Ext_6. ....	81
Figura 3.18 – Coberturas do edifício. ....	82
Figura 3.19 – Pormenor da cobertura – Cob_1. ....	82
Figura 3.20 – Pormenor da cobertura – Cob_2. ....	84
Figura 3.21 – Paredes interiores do edifício. ....	85
Figura 3.22 – Pormenor da parede interior – Par_Int_1. ....	85
Figura 3.23 – Pormenor da parede interior – Par_Int_2. ....	86
Figura 3.24 – Pormenor da parede interior – Par_Int_3. ....	87
Figura 3.25 – Pormenor da parede interior – Par_Int_4. ....	88
Figura 3.26 – Pormenor da parede interior – Par_Int_5. ....	89
Figura 3.27 – Pormenor da parede interior – Par_Int_6. ....	90
Figura 3.28 – Pormenor da parede interior – Par_Int_7. ....	92
Figura 3.29 – Envidraçados exteriores do edifício. ....	93
Figura 3.30 – Aquapack MI-450 (reproduzido da biblioteca de equipamentos do <i>Cype</i> ). ....	96
Figura 3.31 – Hydronic CTB2 (reproduzido da biblioteca de equipamentos do <i>Cype</i> ). ....	97
Figura 3.32 – Instalação do sistema de climatização. ....	98
Figura 4.1 – Caracterização do espaço útil do edifício. ....	111
Figura 4.2 – Caracterização do espaço útil do espaço das Exposições. ....	111
Figura 4.3 – Caracterização do espaço útil do espaço Bar/Auditório. ....	111
Figura 4.4 – Caracterização do espaço útil do espaço dos Escritórios. ....	111
Figura 4.5 – Caudal de ar novo nominal do edifício. ....	115
Figura 4.6 - Caudal de ar novo real do edifício. ....	115
Figura 4.7 – Consumos de AQS. ....	118
Figura 4.8 – Outros consumos. ....	119
Figura 4.9 – Necessidade de energia do Museu para o Caso 1 e 2. ....	119
Figura 4.10 – Necessidades de energia do espaço das Exposições (Caso 3). ....	120
Figura 4.11 – Necessidade de energia do espaço do Bar/Auditório (Caso 3). ....	120
Figura 4.12 – Necessidades de energia do espaço dos Escritórios (Caso 3). ....	120
Figura 4.13 – Temperatura do ar (semana 3). ....	120
Figura 4.14 – Temperatura de ar (semana 30). ....	120
Figura 4.15 – Descrição da parede. ....	122

---

Figura 4.16 – Descrição do material. ....	122
Figura 4.17 – Vista 3D do Museu.....	123
Figura 4.18 – Vista 3D do sistema de climatização do Museu. ....	126
Figura 4.19 – Necessidade térmica de aquecimento do Museu. ....	128
Figura 4.20 – Necessidade térmica de arrefecimento do Museu.....	129
Figura 4.21 – Necessidades térmicas da Sala de Exposições. ....	130
Figura 4.22 – Necessidades térmicas dos Arrumos.....	130
Figura 4.23 – Necessidades térmicas do Bar/Cozinha. ....	130
Figura 4.24 – Necessidades térmicas do Auditório. ....	131
Figura 4.25 – Necessidades térmicas da Sala de trabalho.....	131
Figura 4.26 – Necessidades térmicas da Sala de Informática. ....	131
Figura 4.27 – Necessidades térmicas da Sala de conservação. ....	132
Figura 4.28 – Ganhos de calor pelos vãos envidraçados do Espaço de Exposições (Norte). ....	133
Figura 4.29 – Ganhos de calor pelos vãos envidraçados do Espaço de Exposições (Sul). ....	133
Figura 4.30 – Perdas de calor pelos vãos envidraçados do Espaço de Exposições (Norte). ....	133
Figura 4.31 – Perdas de calor pelos vãos envidraçados do Espaço de Exposições (Sul). ....	133
Figura 4.32 – Ganhos de calor pela envolvente opaca do Espaço de Exposições (Norte). ....	134
Figura 4.33 – Ganhos de calor pela envolvente opaca do Espaço de Exposições (Sul).....	134
Figura 4.34 – Perdas de calor pela envolvente opaca do Espaço de Exposições (Norte). ....	134
Figura 4.35 – Perdas de calor pela envolvente opaca do Espaço de Exposições (Sul).....	134
Figura 4.36 – Comparação dos resultados obtidos sobre as necessidades térmicas de aquecimento. ....	139
Figura 4.37 – Comparação dos resultados obtidos sobre as necessidades térmicas de arrefecimento. ....	139



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Custo da licença dos programas de simulação dinâmica detalhada.....	58
Tabela 3.1 – Zona Climática, Quadro III.4, Quadro III.5, Quadro III.6, Quadro III.7 do RCCTE. .	64
Tabela 3.2 – Zona Climática, Quadro III.1 do RCCTE.....	65
Tabela 3.3 – Zona Climática, Quadro III.2 do RCCTE.....	65
Tabela 3.4 – Zona Climática, Quadro III.3 do RCCTE.....	65
Tabela 3.5 – Zona Climática, faixas costeiras. ....	66
Tabela 3.6 – Zona Climática, Anexo III, Quadro III.8, Quadro III.9, Artigo 15, ponto 2 do RCCTE. .....	66
Tabela 3.7 – Características do pavimento em contacto com o solo – Laje_1.....	69
Tabela 3.8 – Características do pavimento em contacto com o solo – Laje_2.....	70
Tabela 3.9 – Características do pavimento em contacto com o solo – Laje_3.....	71
Tabela 3.10 – Características das paredes em contacto com o terreno – Par_Ext_Cave_1.....	73
Tabela 3.11 – Características das paredes em contacto com o terreno – Par_Ext_Cave_2.....	74
Tabela 3.12 – Características das paredes exteriores – Par_Ext_1.....	76
Tabela 3.13 – Características das paredes exteriores – Par_Ext_2.....	77
Tabela 3.14 – Características das paredes exteriores – Par_Ext_3.....	78
Tabela 3.15 – Características das paredes exteriores – Par_Ext_4.....	79
Tabela 3.16 – Características das paredes exteriores – Par_Ext_5.....	80
Tabela 3.17 – Características das paredes exteriores – Par_Ext_6.....	81
Tabela 3.18 – Características das coberturas – Cob_1. ....	83
Tabela 3.19 – Características das coberturas – Cob_2. ....	84
Tabela 3.20 – Características da compartimentação interior – Par_Int_1.....	86
Tabela 3.21 – Características da compartimentação interior – Par_Int_2.....	87
Tabela 3.22 – Características da compartimentação interior – Par_Int_3.....	88
Tabela 3.23 – Características da compartimentação interior – Par_Int_4.....	89
Tabela 3.24 – Características da compartimentação interior – Par_Int_5.....	90
Tabela 3.25 – Características da compartimentação interior – Par_Int_6.....	91
Tabela 3.26 – Características da compartimentação interior – Par_Int_7.....	92
Tabela 3.27 – Características dos envidraçados.....	94
Tabela 3.28 – Perdas térmicas lineares. ....	95

Tabela 3.29 – Características da unidade produtora água fria/quente. ....	96
Tabela 3.30 – Características das unidades terminais. ....	97
Tabela 3.31 – Características dos ventiladores. ....	98
Tabela 3.32 – Ocupação nominal do edifício. ....	100
Tabela 3.33 – Caudais mínimos de ar novo regulamentar. ....	100
Tabela 3.34 – Potências de iluminação dos diversos espaços. ....	101
Tabela 3.35 – Ocupação real do edifício. ....	102
Tabela 3.36 – Caudal mínimo de ar novo. ....	103
Tabela 4.1 – Taxas de metabolismo dos ocupantes (Adene, 2012). ....	112
Tabela 4.2 – Características de ocupação do Caso 3. ....	113
Tabela 4.3 – Caracterização da ventilação do Caso 3. ....	116
Tabela 4.4 – Síntese de resultados de potências do edifício. ....	120
Tabela 4.5 – Quadro resumo do IEE. ....	121
Tabela 4.6 – Necessidades térmica de aquecimento do Museu. ....	128
Tabela 4.7 – Necessidades térmica de arrefecimento do Museu. ....	129
Tabela 4.8 – Dados provenientes do RCCTE, com ventilação mecânica. ....	136
Tabela 4.9 – Consumos anuais de energia. ....	137
Tabela 4.10 – Classes energéticas para edifícios de serviços. ....	138
Tabela 4.11 – Resultado do IEE e classe energética para os diferentes casos e programas. ....	138

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Delta T$	Aumento de temperatura necessário para preparar a AQS	
$\lambda$	Condutibilidade térmica	[W/m.°C]
$\tau$	Coeficiente de redução de perdas térmicas para espaços não aquecidos	
$\theta_{atm}$	Valor médio da temperatura do ar exterior	
$A$	Área	[m²]
$A_p$	Área útil de pavimento	[m²]
$e$	Espessura	[m]
$E_{ren}$	Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou fluidos residuais	[kWh/ano]
$E_{solar}$	Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento de AQS	[kWh/ano]
$F_{CI}$	Factor de correcção do consumo de energia de aquecimento	
$F_{CV}$	Factor de correcção de consumo de energia de arrefecimento	
$F_{pu}$	Factor de conversão entre a energia útil e a energia primária	
$GD$	Graus dias de aquecimento	[°C.dia]
$G_{sul}$	Energia solar média mensal incidente a Sul	
$H_{em}$	Condução de calor através da envolvente opaca, sem ter em conta o efeito da radiação solar incidente	[m².°C/W]
$H_{is}$	Trocas radiactivas e convectivas entre as superfícies da envolvente interior	[m².°C/W]
$H_{ms}$	Transferência de calor entre a massa de armazenamento térmica e a superfície	[m².°C/W]
$H_v$	Trocas de ar	[m².°C/W]
$H_w$	Condução de calor através dos vãos envidraçados	[m².°C/W]

IEE	Indicador de eficiência energética	[kgep/m <sup>2</sup> .ano]
IEE <sub>I</sub>	Indicador de eficiência energética de aquecimento	[kgep/m <sup>2</sup> .ano]
IEE <sub>v</sub>	Indicador de eficiência energética de arrefecimento	[kgep/m <sup>2</sup> .ano]
M <sub>AQS</sub>	Consumo médio diário de referência AQS	[l]
M <sub>i</sub>	Massa situada do lado interior do isolamento térmico	[kg/m <sup>2</sup> ]
M <sub>si</sub>	Massa superficial útil do elemento	[kg/m <sup>2</sup> ]
M <sub>t</sub>	Massa total do elemento	[kg/m <sup>2</sup> ]
n <sub>a</sub>	Eficiência de conversão dos sistemas de preparação de AQS	
N <sub>a</sub>	Necessidades máximas nominais para preparação de AQS	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]
N <sub>ac</sub>	Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]
n <sub>d</sub>	Número anual de dias de consumo de AQS	
N <sub>i</sub>	Necessidades nominais de aquecimento máximas	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]
N <sub>I1</sub>	Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]
N <sub>ic</sub>	Necessidades nominais de energia útil de aquecimento	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]
N <sub>Ii</sub>	Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizada o edifício	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]
N <sub>t</sub>	Necessidades nominais globais de energia primária máxima	[kgep/m <sup>2</sup> .ano]
N <sub>tc</sub>	Necessidades nominais globais de energia primária	[kgep/m <sup>2</sup> .ano]
N <sub>v</sub>	Necessidades nominais de arrefecimento máximas	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]
N <sub>V1</sub>	Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1-V1	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]
N <sub>Vi</sub>	Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizada o edifício	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]

$N_{vc}$	Necessidades nominais de energia útil de arrefecimento	[kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$Q_a$	Energia despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS	[kWh/ano]
$Q_{aq}$	Consumo de energia de aquecimento	[kgep/ano]
$Q_{arr}$	Consumo de energia de arrefecimento	[kgep/ano]
$Q_{em}$	Ganho ou perda de calor correspondente às trocas de calor por condução através da envolvente opaca	[W]
$Q_g$	Ganhos internos instantâneos, ganhos solares através dos envidraçados e ganhos solares através da envolvente opaca, tendo em conta o efeito da inércia térmica do espaço	[W]
$Q_{hc}$	Energia necessária para climatização	[W]
$q_i$	Ganhos térmicos internos médios por área útil	[W/m <sup>2</sup> ]
$Q_{out}$	Consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento	[kgep/ano]
$Q_v$	Ganhos ou perdas de calor correspondentes à renovação do ar	[W]
$Q_w$	Ganho ou perda de calor correspondente às trocas de calor por condução através dos vãos envidraçados	[W]
$r$	Factor correctivo	
$R$	Resistência térmica do elemento	[m <sup>2</sup> .°C/W]
$R_{se}$	Resistência térmica superficial exterior	[m <sup>2</sup> .°C/W]
$R_{si}$	Resistência térmica superficial interior	[m <sup>2</sup> .°C/W]
$S_i$	Área da superfície interior do elemento $i$	[m <sup>2</sup> ]
$T_e$	Temperatura no exterior do espaço	[°C]
$T_i$	Temperatura no interior do espaço	[°C]
$T_m$	Temperatura média da massa térmica dos elementos do espaço	[°C]
$T_s$	Temperatura média nas superfícies interiores da envolvente	[°C]
$U$	Coeficiente de transmissão térmica	[W/m <sup>2</sup> .°C]



## LISTA DE ABREVIATURAS

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas Quentes Sanitárias
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BDL	<i>Building Description Language</i>
BESTEST	<i>Building Energy Simulation Test</i>
BLAST	<i>Building Loads Analysis and System Thermodynamics</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CE	Certificado Energético
CLTD/SCL/CLF	<i>Cooling Load Temperature Difference / Solar Cooling Load Factor / Cooling Load Factor</i>
COP	<i>Coefficient of Performance</i>
DCR	Declarações de Conformidade Regulamentar
DOE	<i>Department of Energy</i>
EER	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
EL1	Elemento da envolvente exterior
EL2	Elemento em contacto com o solo
EL3	Elemento interior da fracção autónoma
EPW	<i>EnergyPlus Weather file</i>
ESP-r	<i>Environmental System Performance Research</i>

FA	Fracção Autónoma
GEE	Gases de efeito estufa
HAP	<i>Hourly Analysis Program</i>
HBM	<i>Heat Balance Method</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEE	Indicador de Eficiência Energética
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia
NT	Nota Técnica
QAI	Qualidade do Ar Interior
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RQSCE	Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
RTS	<i>Radiant Time Series</i>
SCE	Sistema de Certificação Energética
SI	<i>International System</i>
STE	Simulação Térmica de Edifícios
TETD/TA	<i>Total Equivalent Temperature Differential / Time Averaging</i>
TFM	<i>Transfer Function Method</i>
TMY	<i>Typical Meteorological Year</i>



TRACE	<i>Trane Air Conditioning Economics</i>
TRNSYS	<i>TRaNsient SYstem Simulation</i>
UC	Unidade Climatizadora
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
VAC	Volume de Ar Constante
VAV	Volume de Ar Variável
VRF	Volume de Refrigerante Variável
XML	<i>Extensible Markup Language</i>
XPS	Poliestireno Extrudido

---

## **1. INTRODUÇÃO**



### **1.1. Enquadramento**

O sector dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa. No entanto, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> – quase a totalidade do acordo da União Europeia no âmbito do Protocolo de Quioto.

Para contrariar esta situação, os Estados-Membros têm avançado com um conjunto de medidas de modo a promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, surgindo assim a Directiva n.º 2002/91/CE, com os seguintes objectivos:

- Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- Certificação energética dos edifícios;
- Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras apresentarem mais de 15 anos.

Atingindo estes objectivos, é possível aumentar a eficiência energética nos edifícios, potenciar a melhoria da qualidade dos edifícios (quer novos, quer existentes), reduzir a dependência externa de energia e reduzir as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), contribuindo para o cumprimento do Protocolo de Quioto e ainda proteger e informar melhor a população.

Esta Directiva foi transposta em 2006 para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei, o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) e o Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

## 1.2. Motivação

Os edifícios são sistemas com complexas trocas de calor, tornando o seu cálculo dependente de um grande número de variáveis, tais como: geometria e configuração do edifício, propriedades físicas dos materiais, clima, envolvente, ocupação e utilização. Tal complexidade e a necessidade da sua simulação originaram o aparecimento de programas que permitem a sua modelação.

Existe uma grande gama de programas utilizados na indústria da climatização, devido ao grande desenvolvimento efectuado por algumas instituições como é o caso do Governo dos Estados Unidos, laboratórios de pesquisa independentes e autoridades como a *ASHRAE*, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. Estes programas começaram por permitir a simulação de sistemas térmicos simples, mas rapidamente evoluíram para a análise de sistemas de climatização integrados em edifícios de complexidade elevada.

O RSECE impõe assim, para os edifícios com área útil superior a 1000 m<sup>2</sup>, a sua simulação térmica dinâmica e multizona utilizando programas acreditados pela norma *ANSI/ASHRAE 140-2004*.

Actualmente a maioria das entidades portuguesas ainda não efectua correctamente as simulações térmicas detalhadas, talvez devido a factores de custo e complexidade, mas também pelo facto de até agora só terem sido aplicadas no projecto de grandes edifícios novos. Contudo, prevê-se que esta situação mude, devido à obrigatoriedade de todos os grandes edifícios existentes passarem a cumprir o RSECE num prazo máximo de 6 anos e ao facto dos edifícios novos estarem sujeitos a uma auditoria após 3 anos de funcionamento, a qual colocará novas exigências em termos da qualidade das simulações.

A maioria das modelações térmicas de edifícios executadas têm recorrido ao programa de simulação dinâmica simplificada (unizona) *RCCTE-STE* do *LNEG*, pelo que o objectivo será avaliar as suas limitações, comparando os resultados deste programa com os obtidos recorrendo a um programa de simulação dinâmica detalhada (multizona).

Os modelos para as simulações deverão conter os detalhes do sistema de climatização e possibilitar a utilização de perfis de utilização reais e nominais, bem como de dados climatéricos reais.

### 1.3. Objectivos

O presente estudo teve como objectivo efectuar a simulação dinâmica em condições reais de um edifício de serviços com dois programas diferentes, o *RCCTE-STE* do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (*LNEG*) e o *Cypeterm* distribuído pela Top – Informática em Portugal. O trabalho foi orientado de forma a atingir os seguintes propósitos:

- Efectuar uma revisão bibliográfica aos programas de simulação acreditados para o RSECE (o unizona *STE-LNEG* e os multizona, e.g. *EnergyPlus*, *TRNSYS*, *TRACE 700*, *DOE2.2/eQUEST*, *Carrier\_HAP*, etc.), numa perspectiva de identificação e comparação das metodologias de cálculo e da flexibilidade na utilização e manipulação das bases de dados de entrada;
- Seleccionar um dos programas multizona e, juntamente com o programa de simulação simplificada *RCCTE-STE* do *LNEG* (*ex-INETI*), utilizá-los na modelação térmica de um grande edifício (área útil superior a 1000 m<sup>2</sup>);
- Fazer uma análise comparativa, crítica e detalhada aos resultados obtidos com os dois programas.

### 1.4. Estrutura do trabalho

Para alcançar os objectivos enunciados no ponto anterior, serão analisados detalhadamente, do ponto de vista térmico e energético, o edifício em estudo. Assim, foi adoptada a seguinte estrutura para a organização do trabalho:

O primeiro capítulo inclui o enquadramento geral do trabalho, as motivações, objectivos e, por fim, a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica contendo uma abordagem à regulamentação térmica de edifícios em Portugal, descrevendo os vários regulamentos que se encontram em vigor. De seguida é apresentada uma breve caracterização dos sistemas de climatização, classificando quanto ao fluido térmico a ser utilizado. São exibidos alguns dos métodos de cálculo de cargas térmicas utilizados nos programas de simulação dinâmica detalhada, procedendo-se à descrição de algumas ferramentas de simulação existentes e mais adequadas ao projecto, revelando as principais características de cada uma.

No capítulo 3 é exposto o caso de estudo descrevendo o edifício e caracterizando todos os aspectos fundamentais para os seguintes estudos.

No capítulo 4 realiza-se a simulação térmica e energética do edifício com o *Cypeterm*, que utiliza como motor de cálculo o *EnergyPlus*, e com recurso ao programa de simulação simplificada *RCCTE-STE*, procura-se realçar as características, capacidades e diferenças entre os programas.

No último capítulo, capítulo 5, apresentam-se as principais conclusões deste trabalho e apontam-se possíveis desenvolvimentos futuros.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**



## **2.1. Introdução**

Os edifícios devem garantir no seu interior um ambiente com condições mínimas de conforto e habitabilidade. Para isso, filtram a passagem de luz, ar, ruído e energia através da sua envolvente, criando, entre os ambientes interior e exterior, uma resistência que proporciona a satisfação dessas condições. De todos estes processos a envolvente do edifício, conjunto de todos os elementos que separam o interior do exterior - paredes, coberturas, pavimentos, elementos de portas e janelas - desempenha um papel fundamental.

A simulação dinâmica é um método de análise do desempenho energético que permite avaliar, de uma forma quantitativa, os consumos potenciais de energia do edifício e dos seus sistemas para determinadas condições de utilização e funcionamento dos mesmos. Do mesmo modo pode-se determinar aspectos como as necessidades de aquecimento e arrefecimento de um edifício, os ganhos internos provenientes da sua utilização e dos elementos exteriores, as perdas pela envolvente, a separação dos consumos a diferentes níveis, entre outros. Desta forma a simulação dinâmica é uma ferramenta importante para o ensaio de diferentes soluções de projecto e de alternativas na operação e gestão do funcionamento de edifícios.

No âmbito do RSECE, a simulação serve principalmente para determinar o IEE (Indicador de Eficiência Energética) e para o dimensionamento dos sistemas de climatização. É também uma ferramenta útil para o estudo de potenciais medidas de melhoria.

Para a utilização de um programa de simulação dinâmica detalhada, este obriga a utilização de um programa acreditado pela norma ASHRAE 140-2004.

Neste capítulo pretende-se fazer uma revisão bibliográfica da regulamentação térmica de edifícios em Portugal, tipos de sistemas de climatização, descrição dos métodos de cálculo de cargas térmicas em programas e alguns desses programas de simulação dinâmica detalhada.

## **2.2. Regulamentação térmica de edifícios em Portugal**

Em 6 de Fevereiro de 1990, com o Decreto-Lei 40/90, surgiu a primeira legislação que impôs requisitos térmicos na edificação, onde se estabeleceu o primeiro RCCTE.

Nessa altura introduziu-se em Portugal os aspectos térmicos e energéticos no projecto de edifícios e de grandes remodelações, através da definição de requisitos mínimos para a envolvente. Assim, este regulamento veio introduzir requisitos que tiveram em atenção o consumo de energia, o conforto térmico e a ocorrência de condensações na estrutura. Este incluía ainda, exigências e limites para necessidades de aquecimento no Inverno e de arrefecimento no Verão.

Após a entrada em vigor do primeiro RCCTE, surgiu a regulamentação sobre os sistemas de climatização, uma vez que era necessário criar um regulamento que os abrangesse. Tendo isto, em 1992, foi publicado no Decreto-Lei 173/92, o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RQSCE) que esteve em vigor durante um curto período de tempo tendo sido suspenso pela Comunidade Europeia devido a questões de formalidade na sua promulgação.

Em 7 de Maio de 1998 com o Decreto-Lei 118/98 surgiu o RSECE. Este era uma revisão e actualização do RQSCE e englobava sistemas de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). Este regulamento estabeleceu limites na potência instalada e restrições na instalação e utilização dos equipamentos e sistemas.

O RSECE aplicava-se a todo o edifício ou zona independente com equipamentos térmicos em que a potência térmica nominal de aquecimento ou arrefecimento fosse superior a 25 kW, ou em que a soma das potências térmicas nominais para aquecimento e arrefecimento fosse superior a 40 kW, ficando assim excluídos os edifícios para fins industriais.

A 16 de Dezembro de 2002 surge a Directiva n.º 2002/91/CE, de forma a tentar integrar acções ao nível comunitário, no que toca ao desempenho energético em edifícios e tendo em conta as condições climáticas externas e locais e ainda as exigências em matéria de clima interior e rentabilidade económica.

Esta directiva tem como objectivos a criação de uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, a certificação energética dos edifícios, a inspecção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado e avaliação da instalação de aquecimento quando a caldeira atingir mais de 15 anos e ainda a aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios e grandes edifícios submetidos a obras de renovação importantes.

No âmbito desta directiva de forma a melhorar o desempenho energético em edifícios, Portugal publica a 4 de Abril de 2006 através do Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, do Decreto-Lei n.º 79/2006 e do Decreto-Lei n.º 80/2006, respectivamente, o SCE, RCCTE e o RSECE.

### **2.2.1. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior nos Edifícios – SCE**

Segundo o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, o estado assegura a melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar interior dos edifícios através do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios implementando um sistema de certificação energética de modo a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios aquando da sua construção, arrendamento ou venda, impondo também que o sistema de certificação abranja todos os grandes edifícios públicos e dos edifícios frequentemente visitados pelo público.

Nos edifícios já existentes, a certificação energética proporciona informação sobre as medidas de melhoria de desempenho, com viabilidade económica que o proprietário poderá implementar, para assim, além de reduzir as suas despesas energéticas também melhorar a eficiência energética do edifício.

O SCE é um dos três pilares sobre os quais assenta a nova legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal e com o qual se pretende obter economias significativas de energia para o país e para os utilizadores dos edifícios. Este sistema juntamente com o RCCTE e com RSECE define regras e métodos para verificação da aplicação efectiva destes regulamentos às novas edificações e numa fase posterior também aos imóveis já construídos.

#### **2.2.1.1. Organização, objectivos e funcionamento do SCE**

Compete ao SCE, assegurar a aplicação regulamentar relativamente às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e ainda às condições de garantia da qualidade do ar interior; identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho energético na edificação e respectivos sistemas energéticos e finalmente, certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios.

A supervisão do SCE relativamente à certificação e eficiência energética e à qualidade do ar interior é da responsabilidade da Direcção-Geral de Geologia e Energia e ao Instituto do

Ambiente. A gestão do SCE cabe à Agência para a Energia (ADENE), à qual compete assegurar o funcionamento regular do sistema; aprovar o modelo dos certificados de desempenho energético e da qualidade do ar interior nos edifícios; facultar, *online*, o acesso a toda a informação relativa aos processos de certificação aos peritos que os acompanham e ainda criar uma bolsa de peritos qualificados do SCE e manter informação actualizada sobre a mesma.

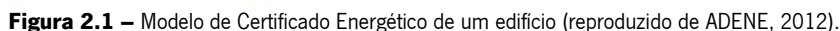
#### **2.2.1.2. Certificado energético de edifícios**

Os principais objectivos da certificação energética são melhorar a eficiência energética dos edifícios, definir requisitos de conforto térmico e de higiene dos espaços interiores de acordo com a sua utilização e garantir uma boa qualidade do ar interior.

Assim, esta proporciona aos utentes a possibilidade de comprovar a correcta aplicação da regulamentação térmica, bem como da qualidade do ar interior vigente para o edifício e para os seus sistemas energéticos e também permite adquirir informação relativa ao desempenho energético em condições nominais de utilização, no caso de edifícios já existentes ou de edifícios novos, em condições reais ou aferidos para padrões de utilização típicos.

Deste modo, aquando da compra ou aluguer de um imóvel, os consumos de energia nos edifícios, em condições nominais de utilização, são um factor de comparação credível, permitindo assim aos compradores ou arrendadores avaliar a qualidade do imóvel no que concerne ao desempenho energético e à qualidade do ar interior.

Nos edifícios já existentes, o certificado energético (Figura 2.1) faculta informação acerca das medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior, com viabilidade económica, que o proprietário poderá implementar para reduzir as suas despesas energéticas, bem como para assegurar uma boa qualidade do ar interior, isento de riscos para a saúde pública e potenciador do conforto e da produtividade.



O presente RCCTE analisa separadamente as estações de aquecimento e de arrefecimento, mantendo requisitos de funcionamento em função de cada zona climática.

O RCCTE veio instituir requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e de pequenos serviços sem sistemas de climatização, principalmente ao nível das características da envolvente, limitando as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos.

Este contabiliza a energia despendida para produção de águas quentes sanitárias impondo limites aos consumos energéticos da habitação para climatização e produção da mesma e tem em conta o tipo de sistema de aquecimento e de arrefecimento bem como as fontes de energia primária utilizadas, orientando para diferentes requisitos em função da eficiência dos equipamentos; obriga a instalação de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária desde que os edifícios possuam uma exposição solar adequada e incentiva a utilização de sistemas eficientes e de fontes energéticas com menor impacto em termos de consumo de energia primária.

#### **2.2.2.1. Objectivos do RCCTE**

O RCCTE tem como objectivos satisfazer as exigências de conforto térmico, tanto de aquecimento como de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como de água quente sanitária, sem despendar energia excessivamente e minimizar as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior.

#### **2.2.3. Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE)**

O actual RSECE surgiu na sequência da criação do SCE devido à tomada de consciência do impacto energético e consequentemente económico dos edifícios, nomeadamente de serviços. Tornou-se assim essencial renovar a legislação de modo a implementar nos edifícios medidas de racionalização de energia, incentivando a poupança dos proprietários e ocupantes e dotando o edifício, sempre que possível, de métodos de produção descentralizada da sua própria energia.

O RSECE veio definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos da qualidade da envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrangem também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, obrigando igualmente à realização de auditorias periódicas aos edifícios de serviços.

A qualidade do ar interior surge também como um requisito deste regulamento abrangendo as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes.

#### **2.2.3.1. Objectivos do RSECE**

Os objectivos da revisão do RSECE são definir as condições de conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas nos diferentes espaços dos edifícios, em consonância com as respectivas funções; impor regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efectivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, tanto a nível do projecto como a nível da sua instalação e durante o seu



funcionamento, através de uma manutenção adequada; melhorar a eficiência energética global dos edifícios, não só nos consumos para climatização como em todos os tipos de consumos de energia que neles têm lugar, promovendo a sua limitação efectiva para padrões aceitáveis, quer nos edifícios existentes, quer nos edifícios que se irão construir ou nas grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes e por ultimo, monitorizar com regularidade as práticas da manutenção dos sistemas de climatização como condição da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.

#### **2.2.3.2. Tipos de edifícios abrangidos pelo RSECE**

Os edifícios abrangidos pelo RSECE são:

- Grandes edifícios ou fracções autónomas de serviços, existentes e novos com área útil superior a 1000 m<sup>2</sup>, ou no caso de edifícios do tipo centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas aquecidas cobertas, com área superior a 500 m<sup>2</sup>;
- Novos edifícios de habitação ou cada uma das suas fracções autónomas com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW;
- Novos e existentes pequenos edifícios ou fracções autónomas de serviços com sistemas de climatização com potência instalada superior a 25 kW;
- Novos sistemas de climatização a instalar em edifícios ou fracções autónomas existentes, de serviços ou de habitação, com potência instalada igual ou superior a 25 kW em qualquer tipologia de edifícios;
- Grandes intervenções de reabilitações relacionadas com a envolvente, as instalações mecânicas de climatização ou os demais sistemas energéticos dos edifícios de serviços;
- Ampliação dos edifícios existentes em que a intervenção não atinja o limite definido para ser considerada uma grande intervenção de reabilitação.

### **2.3. Sistemas de Climatização**

O RSECE tem uma grande influência no projecto e manutenção dos sistemas de climatização, principalmente no que toca aos edifícios de serviços tanto aos novos como aos pré-existentes. O Regulamento obriga a que:

- O sistema seja centralizado sempre que a soma das potências de aquecimento ou de arrefecimento do edifício seja superior a 100 kW, uma vez que a potência instalada promédio ( $P_m$ ) é actualmente de 25 kW;
- A soma seja feita para as fracções autónomas (FA) que tenham o mesmo tipo de uso;
- Se alguma das fracções autónomas de um edifício de serviços tiver unidades individuais com uma potência total instalada, seja de aquecimento ou arrefecimento, superior a 12 kW, o sistema de climatização do edifício terá de ser centralizado mesmo que a potência total seja inferior a 100 kW;

### **2.3.1. Sistemas “Tudo Ar”**

Neste tipo de instalações o ar é tratado numa Unidade de Tratamento de Ar (UTA) e depois distribuído por uma rede de condutas pelos locais a climatizar.

Estas instalações podem ser classificadas segundo a velocidade do ar nas condutas, em instalações de baixa velocidade ou de baixa pressão (velocidades até 8 m/s) e em instalações de alta velocidade ou de alta pressão (onde a velocidade pode atingir os 14 m/s, sendo assim necessário utilizar “caixas de expansão” e dispositivos de insuflação especiais).

As instalações “Tudo Ar” requerem condutas de grandes dimensões, tanto maiores quanto maior for a carga térmica e quanto menor for a velocidade do ar e com isto necessitam ainda de tectos falsos e “*courettes*” de grandes volumes. Assim, além de ter um custo mais elevado na construção civil, só podem ser instaladas quando no projecto de arquitectura são previstas essas passagens especiais, estas instalações são pouco flexíveis às variações de carga térmica e ainda, normalmente, não permitem o controlo individual da temperatura em cada uma das divisões climatizadas sendo que quando o permitem é com limitações. Os sistemas “tudo ar” podem ser classificados em:

- Sistemas com volume de ar constante (VAC);
- Sistemas com uma só zona;
- Sistemas com várias zonas (com baterias de reaquecimento);
- Sistemas com volume de ar variável (VAV);
- Sistemas com duas condutas.

### 2.3.1.1. Sistemas com volume de ar constante (VAC)

Nos sistemas com caudal de ar constante podemos ter sistemas com uma só zona ou com várias zonas.

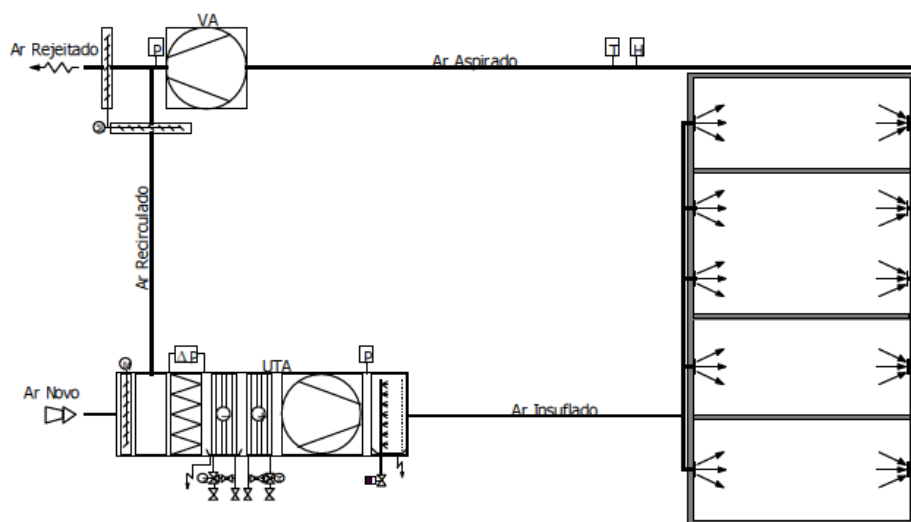
Nos **sistemas com uma só zona** o ar é tratado na UTA e posteriormente é distribuído por uma ou mais divisões, através da rede de condutas. Quando existe mais do que uma divisão todas receberão o ar no mesmo estado.

Este tipo de instalação é utilizado principalmente para climatizar locais de grande volume.

Quando se refere a um edifício com várias divisões o caudal de ar insuflado em cada uma delas deverá ser proporcional às respectivas cargas térmicas quer de aquecimento ou de arrefecimento.

O sistema de controlo geralmente actua sobre as baterias de aquecimento ou de arrefecimento da UTA em função da temperatura do ar na conduta de retorno, que é onde se obtém a temperatura média das divisões climatizadas.

Se existir controlo da humidade relativa do ar, o sistema de controlo também irá actuar sobre um humidificador (para humidificar) ou sobre a bateria de arrefecimento (para desumidificar) em função da humidade relativa do ar na conduta de retorno. Na Figura 2.2 está ilustrado o princípio de funcionamento deste sistema.



**Figura 2.2** - Diagrama de princípio de funcionamento de um sistema de climatização “tudo ar” de uma só zona (reproduzido de Carapito, 2011).

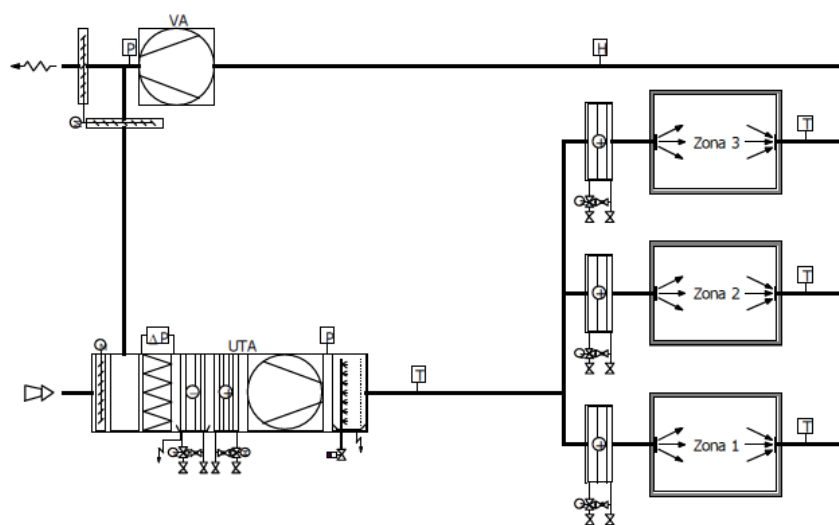
Associado a qualquer sistema de climatização existe um sistema de exaustão de ar viciado, o que significa que o caudal de ar aspirado é praticamente sempre inferior ao caudal de ar insuflado. O edifício deverá ficar em ligeira sobrepressão em relação ao exterior, para assim evitar ou diminuir as infiltrações de ar não tratado, o que leva a que a diferença normalmente seja ainda maior.

Segundo Roriz (2007) uma desvantagem deste tipo de instalação é o facto de esta não permitir o controlo da temperatura em cada uma das divisões e de não ter a capacidade de se adaptar às variações de carga térmica que se podem apresentar em cada uma delas.

Os **sistemas com várias zonas** são adequados para edifícios que possuam diferentes fachadas com diferentes orientações e em que, nas meias estações, umas possam necessitar de arrefecimento e outras de aquecimento ou em espaços com uma carga térmica interna elevada e com flutuações repentinas e de grande intensidade.

Nestes casos, a instalação de climatização terá de possuir uma unidade para cada uma das zonas com condições diferentes. Apesar de esta solução não permitir o controlo da temperatura em cada uma das divisões da zona climatizada por uma determinada UTA, esta vai permitir um controlo individualizado da temperatura em cada uma das zonas climatizadas.

Como alternativa, quando a variação da carga térmica é muito elevada, utilizam-se baterias de reaquecimento terminal, tal como aparece no exemplo da Figura 2.3.



**Figura 2.3** – Diagrama de instalação do tipo “tudo ar” com baterias de reaquecimento (reproduzido de Carapito, 2011).

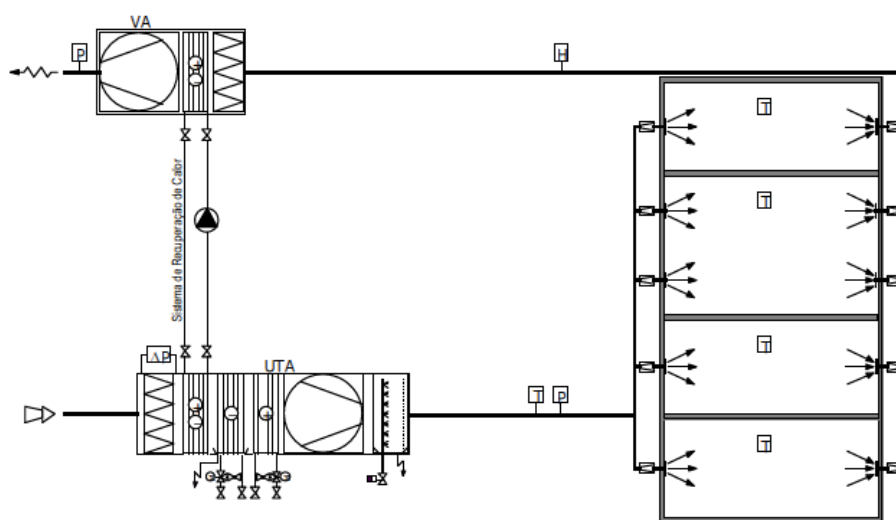
### 2.3.1.2. Sistemas com volume de ar variável (VAV)

De acordo com Roriz (2007) nas instalações com volume de ar variável, é o caudal de ar que é ajustado, sendo assim constante a temperatura do ar insuflado. Nesta situação, é a variação do caudal, realizada nas unidades terminais, que permite compensar a carga térmica de cada local.

Estes sistemas são especialmente indicados para os casos em que as cargas térmicas de diferentes locais do mesmo edifício sofram flutuações algo diferentes umas das outras.

Assim, em regime de arrefecimento, o ar é insuflado, por exemplo, à temperatura constante de 15°C, se a temperatura ambiente aumenta, como resultado do aumento das fontes internas de calor (por exemplo, o número de pessoas) o caudal de ar é aumentado, no caso contrário é diminuído até atingir o valor mínimo.

Na Figura 2.4 está representado o esquema de princípio de funcionamento deste tipo de instalação. Cada local ou cada zona possui um termostato de ambiente electrónico que abre ou fecha os reguladores de débito variável de ar de acordo com a variação de temperatura, sem contudo os fechar completamente, de modo a manter sempre o caudal de ar mínimo para assim garantir as condições de higiene e salubridade.



**Figura 2.4** – Diagrama de instalação do tipo VAV (reproduzido de Carapito, 2011).

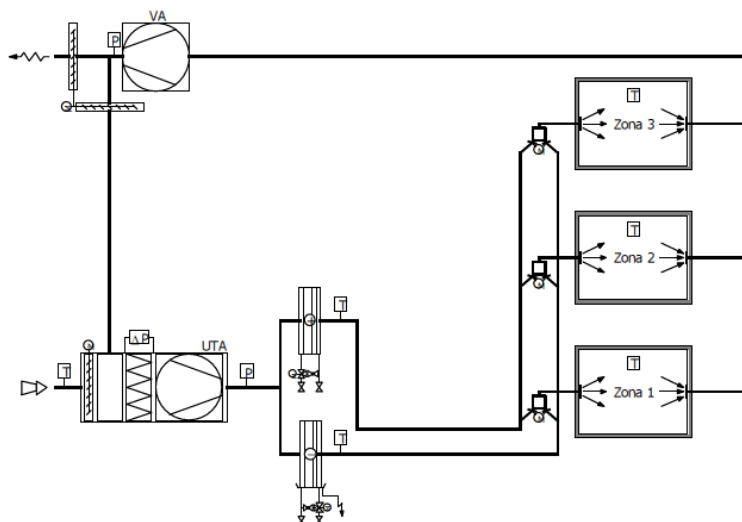
Em todas as instalações do tipo VAV é necessário que o caudal de ar aspirado siga as flutuações do caudal de ar insuflado de forma a evitar que ocorram variações de pressão indesejáveis no local.

### 2.3.1.3. Sistemas com duas condutas de insuflação

Estes sistemas são adequados para a climatização de edifícios com um grande número de divisões e com cargas térmicas muito distintas.

Nestes sistemas o ar depois de sofrer um pré-tratamento adequado na UTA é distribuído por duas condutas, sendo uma delas equipada com uma bateria de aquecimento e a outra com uma bateria de arrefecimento.

Segundo Roriz (2007) cada difusor de insuflação ficará ligado às duas condutas através de caixas de mistura especiais, onde o ar arrefecido é misturado com o ar aquecido nas proporções indicadas ao local que vai ser insuflado, através de registos motorizados. Na Figura 2.5 está exemplificado o princípio de funcionamento deste sistema.



**Figura 2.5** – Diagrama de instalação do sistema “tudo ar” com duas condutas de insuflação (reproduzido de Carapito, 2011).

Estes sistemas podem ser de alta ou de baixa pressão, porém são geralmente do tipo de alta pressão para assim reduzir o volume das condutas.

Algumas das desvantagens deste tipo de sistema são o custo elevado, a rede de condutas ocupa um espaço maior, a existência de consumos de energia elevados, a existência de um elevado nível de ruído e ainda a exigência de uma regulação e controlo complexos (Roriz, 2007).

Em contrapartida, a maior vantagem deste sistema é o facto de permitir uma compensação mais eficaz das cargas térmicas de cada um dos compartimentos do edifício pela variação da temperatura do ar insuflado.

Na maioria das situações as desvantagens deste tipo de sistema levam a que este não seja considerado a solução mais indicada para a climatização de um edifício sendo assim muito rara a sua implementação.

### **2.3.2. Sistemas a ar e água**

A utilização de água como fluido intermédio para o transporte de energia calorífica até aos locais a climatizar surge como uma alternativa aos sistemas “tudo-ar” (Roriz, 2007).

Assim, as cargas térmicas de cada local são compensadas por um equipamento local que aquece ou arrefece o ar ambiente directamente a partir da água, respectivamente aquecida ou arrefecida.

Estes equipamentos locais podem ser pequenas unidades de tratamento de ar os ventiloconvectores e injectoconvectores ou vigas arrefecidas, conforme possuam ou não ventilador, ou uma rede de tubos integrada no pavimento, nas paredes ou ainda no tecto da divisão.

Os sistemas que recorrem à água como fluido intermédio podem classificar-se em:

- Sistemas de climatização com ventiloconvectores, injectoconvectores ou vigas arrefecidas, sendo que estes ainda se podem classificar em sistemas com dois tubos ou com quatro tubos;
- Climatização com pavimentos radiantes (arrefecidos ou aquecidos);
- Climatização com paredes ou tectos radiantes (arrefecidos ou aquecidos).

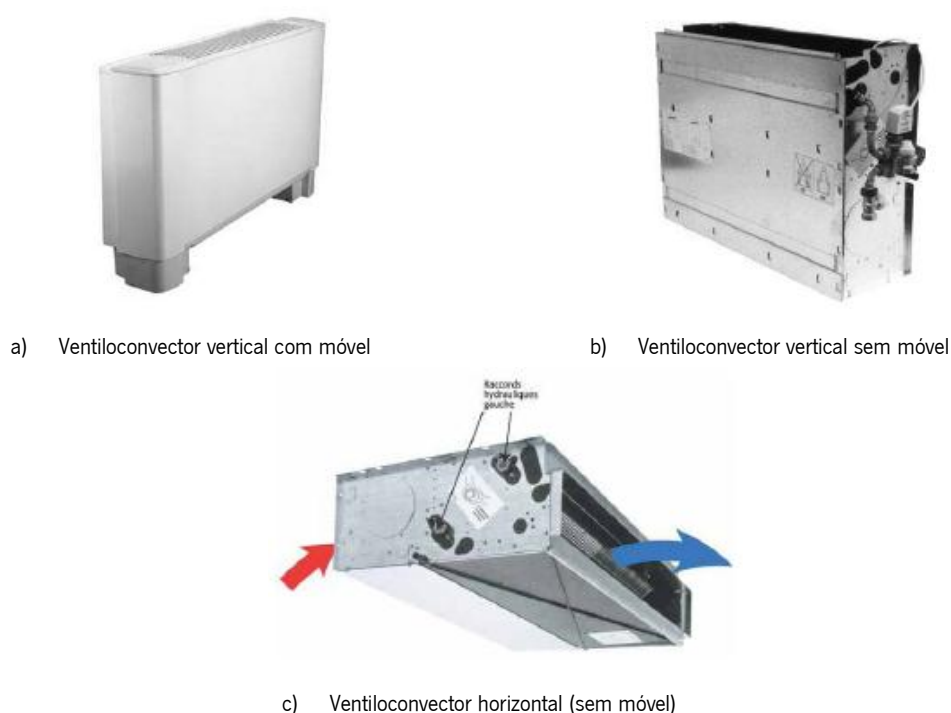
A maior vantagem deste tipo de sistema é o permitir uma regulação individual da temperatura em cada local climatizado, apesar da limitação para os sistemas a dois tubos de não permitirem a selecção entre frio e calor num mesmo momento.

Neste sistema, a água é aquecida centralmente numa caldeira ou numa bomba de calor, já o arrefecimento é feito por um chiller. Quando o grupo arrefecedor de água é reversível (bomba de calor) ele pode efectuar o arrefecimento da água no Verão e o seu aquecimento no Inverno.

### 2.3.2.1. Sistemas com ventiloconvectores

Os ventiloconvectores são pequenas unidades de tratamento de ar terminais, compostas por um filtro de ar, um ventilador, um ou dois permutadores, integrados numa estrutura adequada e equipados com os respectivos acessórios. O motor eléctrico que acciona o ventilador geralmente tem três velocidades, o que permite adequar o caudal de ar às variações de carga térmica.

Os ventiloconvectores, ilustrados na Figura 2.6, podem ser instalados em consola (na vertical e encostado a uma parede) com móvel (com caixa exterior), ou em tecto falso (na horizontal e sem caixa exterior).



**Figura 2.6** – Exemplos de ventiloconvectores (reproduzido de Carapito, 2011).

De modo a garantir a renovação de ar de cada local o ar novo pode ser introduzido de uma das seguintes formas:

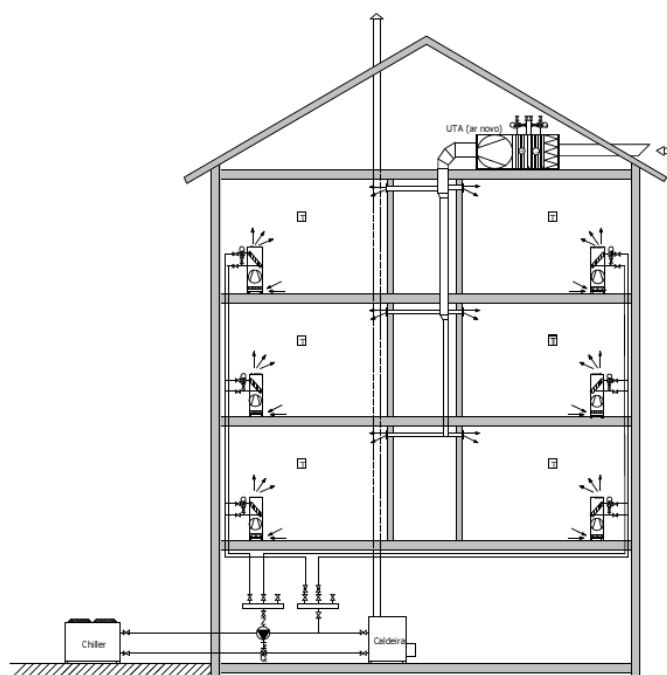
- O ar passa directamente através de um orifício efectuado na parede exterior, provido de uma grelha exterior com registo de regulação de caudal de ar;
- Por um sistema complementar, incorporado na UTA, que trata o ar novo centralmente. Este depois é distribuído através da rede de condutas e insuflado nos locais através de difusores ou grelhas;



- Por um sistema idêntico ao anterior, só que o ar novo é inserido no próprio ventiloconvector.

#### 2.3.2.1.1. Sistemas a 2 tubos

O sistema a 2 tubos, exemplificado na Figura 2.7, prevê a circulação de água aquecida no Inverno e de água arrefecida no Verão, pelo que a rede de tubagens serve para ambos os casos (aquecimento e arrefecimento) (Roriz, 2007).

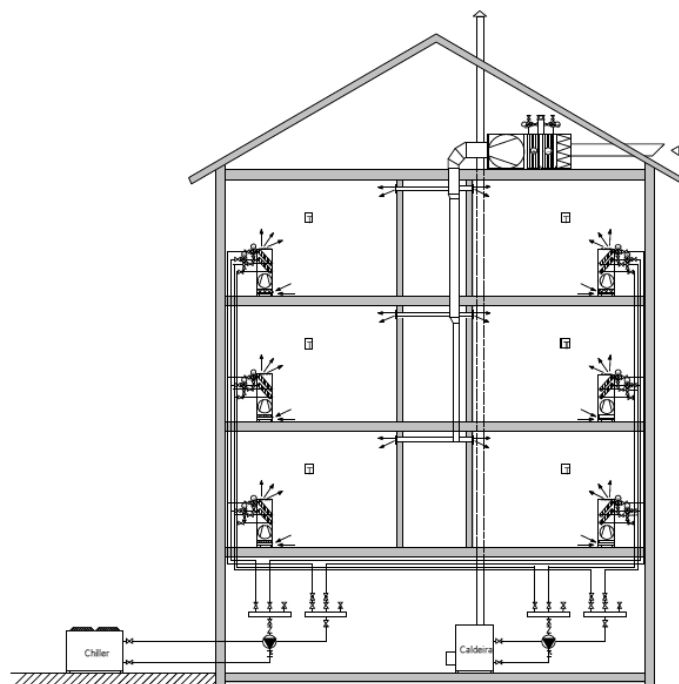


**Figura 2.7** – Sistema de climatização a ar e água, a 2 tubos, com ventiloconvectores (reproduzido de Carapito, 2011).

A regulação é efectuada por termóstato de ambiente que actua sobre a válvula motorizada “tudo-ou-nada” que controla a passagem de água na bateria. Quando a válvula fecha, o motor do ventilador é desligado. A selecção do regime de aquecimento ou de arrefecimento pode ser feita manualmente no comutador existente no termóstato de ambiente ou automaticamente por termóstato inversor segundo a temperatura da água em circulação.

#### 2.3.2.1.2. Sistemas a 4 tubos

Os sistemas a 4 tubos são indicados para edifícios em que haja simultaneamente locais com necessidade de aquecimento e outros com necessidade de arrefecimento, assim tem de ser prevista a existência tanto de água aquecida como de arrefecida em cada espaço climatizado (Roriz, 2007). Na Figura 2.8 está representado o esquema de um sistema a 4 tubos.



**Figura 2.8** – Sistema de climatização a ar e água, a 4 tubos, com ventiloconvectores (reproduzido de Carapito, 2011).

A regulação é feita através do termóstato de ambiente que actua sequencialmente sobre as válvulas motorizadas “tudo-ou-nada” que controlam a passagem de águas nas baterias, ou seja, em função da temperatura ambiente seleccionada o termóstato ou provoca abertura da válvula da bateria de água refrigerada ou da válvula da bateria de água aquecida, nunca as abrindo em simultâneo. Sempre que estas válvulas estejam fechadas o motor do ventilador desliga-se.

Tanto a selecção do regime de aquecimento ou de arrefecimento como a regulação da velocidade, geralmente, são realizadas manualmente pelo utilizador nos comutadores existentes no referido termóstato de ambiente.

### **2.3.2.2. Sistemas com injectoconvectores ou com vigas arrefecidas**

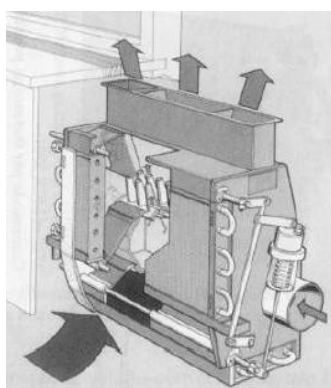
Os injectoconvectores, ilustrado na Figura 2.9, são pequenas unidades de tratamento de ar semelhantes aos ventiloconvectores mas em que o ar novo (ar primário) é injectado a alta velocidade de forma a criar um efeito de indução no ar da divisão (ar secundário).

O sistema de controlo actua sobre os registos para que o ar secundário passe ou na bateria de água aquecida, ou na de água refrigerada, ou pelo “*by-pass*”, ou ainda que passe uma parte do ar por uma das baterias e a outra parte pelo “*by-pass*”, para que a mistura de ar novo com o ar recirculado abandone o injectoconvector com a temperatura adequada para compensar a carga térmica da divisão.

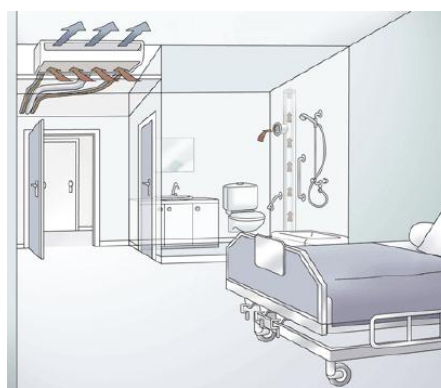
Nos injectoconvectores não existe a possibilidade de fazer variar o caudal de ar, uma vez que o caudal de ar primário é fixo e o de ar secundário depende deste.

As desvantagens dos injectoconvectores, por exemplo, a dissipação do calor, levaram a que estes quase desaparecessem tendo sido substituídos por vigas arrefecidas.

Nas vigas arrefecidas (Figura 2.10) o ar novo, insuflado através da “viga arrefecida”, provoca a aspiração do ar do espaço climatizado; este ar depois de passar através da bateria de arrefecimento, envolve-se com o ar novo, sendo esta mistura repetidamente insuflada no espaço climatizado.



**Figura 2.9** – Princípio de funcionamento de um injectoconvector (reproduzido de Carapito, 2011).

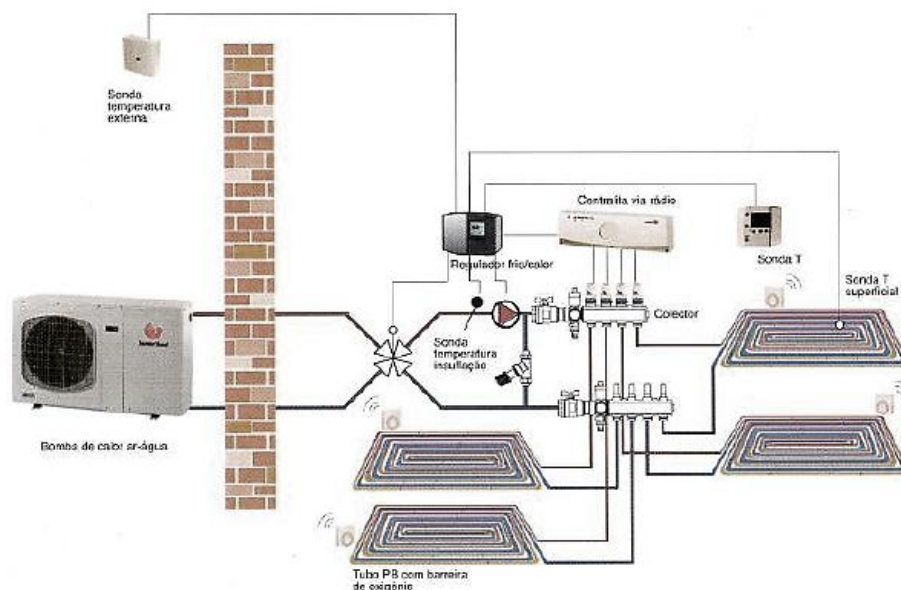


**Figura 2.10** – Princípio de funcionamento de uma “viga arrefecida” (reproduzido de Carapito, 2011).

### **2.3.2.3. Sistemas com pavimento radiante**

Os sistemas de pavimento radiante (Figura 2.11) utilizam tubos embebidos na camada de regularização dos pavimentos, por onde passa água aquecida no Inverno e arrefecida no Verão.

Segundo Roriz (2007) estes sistemas são principalmente vantajosos para aquecimento, na medida em que proporcionam uma distribuição de temperaturas no espaço aquecido muito próxima da ideal, com valores ligeiramente superiores junto ao pavimento e ligeiramente mais baixos nas camadas superiores.



**Figura 2.11** – Sistema de aquecimento e arrefecimento com pavimento radiante (reproduzido de Carapito, 2011).

#### 2.3.2.4. Sistemas com tecto ou paredes radiantes

Os sistemas de climatização por tecto radiante ou paredes radiantes (Figura 2.12) são formados por uma rede de tubos embebidos nas paredes ou fixados em placas que forram as paredes ou integram o tecto falso. O princípio base destes sistemas é que desfruta a capacidade das superfícies (tecto e paredes) para trocar calor ou frio por radiação com o ambiente circunstante, sendo habitual utilizar este sistema para fins de arrefecimento (Roriz, 2007). O sistema garante um equilíbrio das temperaturas e correctas proporções das permutas térmicas entre o corpo humano e o ambiente a ser climatizado.

Este tipo de aquecimento pode levar a uma diminuição considerável do consumo de energia.



**Figura 2.12** – Sistema de aquecimento e arrefecimento com paredes e tecto radiante (reproduzido de Solius, 2012).

### 2.3.3. Sistemas de expansão directa

Nestes sistemas o arrefecimento e/ou aquecimento ambiente é efectuado por expansão directa do fluido frigorigénio, isto é, os aparelhos de ar condicionado cujo fluido frigorigénio recebe ou liberta o calor directamente de ou para a divisão a climatizar.

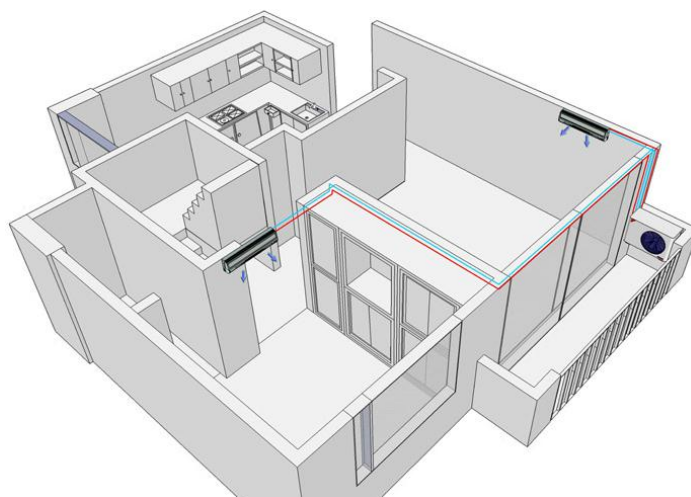
#### 2.3.3.1. Sistemas individuais

A climatização com unidades individuais, geralmente do tipo “*split*”, só deve ser utilizada no caso de uma só divisão ou sendo várias, estas estejam demasiado afastadas para se utilizar outro sistema.

#### 2.3.3.2. Sistemas “*multi-split*”

Estes sistemas são constituídos por uma unidade exterior à qual podem ser ligadas várias unidades interiores, tal como indicado na Figura 2.13.

Algumas das limitações que este sistema apresenta são em termos de distâncias entre cada uma das unidades interiores e a unidade exterior, e ainda em termos do comprimento total de tubagem utilizado. Estas limitações estão associadas à capacidade do sistema para recuperar o óleo, que é arrastado pelo fluido frigorigénio novamente para o compressor.



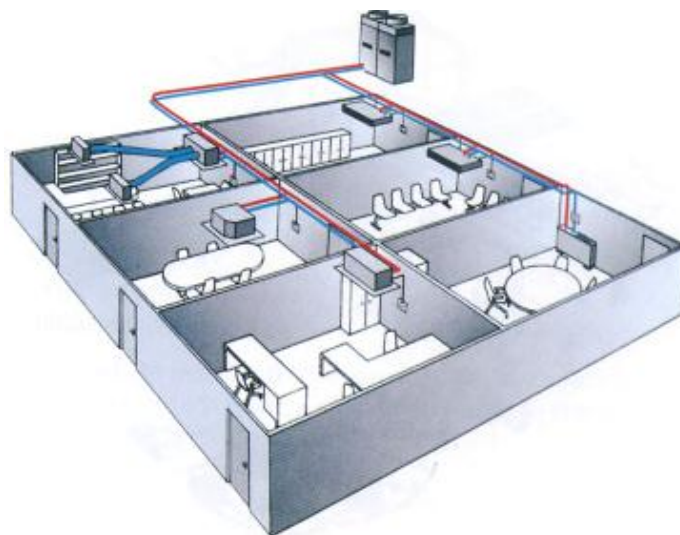
**Figura 2.13** – Exemplo de uma instalação de um sistema “*multi-split*” (reproduzido de aireacondicionado, 2012).

#### 2.3.3.3. Sistemas Volume de Refrigerante Variável (“VRF”)

Este tipo de sistema é semelhante aos sistemas “*multi-split*” todavia este permite a ligação de um número mais elevado de unidades interiores a uma única unidade exterior.

O inconveniente dos sistemas “VRF” (Figura 2.14) é a possibilidade de ocorrer uma fuga de fluido frigorigénio no interior do edifício e de assim poder provocar intoxicação dos ocupantes.

Estes sistemas são necessários em edifícios onde durante o aquecimento existam divisões que necessitem de arrefecimento devido às cargas internas e/ou à radiação solar.



**Figura 2.14** – Exemplo de uma instalação de um sistema “VRF” (reproduzido de friclima, 2012).

## **2.4. Métodos de cálculo de cargas térmicas em programas**

O processo de climatização refere-se a um conjunto de meios que procuram manter um espaço com uma determinada temperatura e humidade, e ainda renovar o ar conforme o tipo de actividade que aí se realize.

Desde a antiguidade até ao século XX desenvolveram-se equipamentos e processos cada vez mais sofisticados de modo a conseguir controlar as temperaturas no interior de espaços fechados.

Willis Carrier, Reuben Trane, James Joule, Sadi Carnot, entre outros, foram os responsáveis pelo desenvolvimento de técnicas modernas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC). Em 1984 fundou-se a ASHRAE que é uma organização que veio sistematizar o conhecimento e desenvolvimento tecnológico neste âmbito, e cujo principal objectivo é promover o desenvolvimento científico na área do aquecimento, da refrigeração, da ventilação e do ar condicionado.

Ao longo do século XX observou-se o desenvolvimento da indústria do ar condicionado o que levou ao aumento da necessidade de estimar correctamente as cargas térmicas aquando do projecto do sistema de climatização e tratamento de ar de um edifício, de maneira a evitar erros nos dimensionamentos das instalações e equipamentos. O sobredimensionamento de um sistema de climatização leva ao encarecimento de toda a instalação, e também a consumos energéticos superiores ao longo da sua vida útil, por outro lado o sobredimensionamento acarreta problemas a nível do conforto dos ocupantes, da qualidade do ar interior, entre outros.

Segundo a ASHRAE Handbook – Fundamentals - SI Units (2009), as cargas térmicas de arrefecimento e de aquecimento ocorrem a partir de diversos processos de transferência de calor por convecção, condução e radiação através da envolvente do edifício e da criação interna de ganhos térmicos nas zonas a climatizar. Existem parâmetros que podem afectar as cargas térmicas, sendo eles, externos (pavimentos, paredes, coberturas, vãos envidraçados e clarabóias), internos (ocupação, iluminação e equipamentos), sistemas de climatização (possíveis fugas nas condutas, ar exterior, recuperação de energia, bombagem e ventilação) e infiltrações (fugas de ar e migração de humidade de umas zonas para outras).

A maior parte dos métodos existentes calculam a carga térmica em duas fases, na primeira tem-se em conta os ganhos de calor (envolventes, infiltrações e envidraçados) e a geração interna na zona (ocupação, equipamentos e iluminação) e na segunda fase considera-se a extracção desta carga térmica a partir do sistema de climatização. O grande desafio dos métodos de cálculo das cargas térmicas é quantificar os efeitos transientes de inércia que afectam a diferença de tempo entre os ganhos de energia radiactiva e a transformação dos mesmos em carga térmica a ser removida.

Um sistema de climatização que sirva diversas zonas independentes, cada uma com um determinado controlo de temperatura, necessita de garantir o tratamento da carga térmica máxima verificada num dia de projecto (dia do ano com as condições climáticas mais extremas o que resulta na solicitação máxima do sistema de climatização), obtida através das cargas térmicas de todas as zonas, e ainda tem de assegurar os picos de carga individuais de cada zona individualmente.

A ASHRAE desenvolveu uma série de projectos de investigação que estudaram os vários métodos de cálculo de cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, de forma a desenvolver métodos de cálculos cada vez mais rigorosos e realistas.

Os cálculos das cargas térmicas iniciais apoiavam-se na equação elementar de transferência de calor em regime estacionário, sendo que os resultados atingidos eram pouco realistas, uma vez que os cálculos descuravam uma série de factores, tais como as componentes radiactivas.

Em 1967 surgiu o primeiro método da diferença de temperatura diferencial (TETD/TA) no ASHRAE Handbook Fundamentals do mesmo ano. Este método além de permitir calcular as cargas térmicas tendo em vista o processo condutivo, procurava ainda avaliar os ganhos térmicos por radiação através do uso de uma média temporal destes ganhos. Contudo, este não tratava rigorosamente da inércia térmica e do consequente efeito transiente da mesma, obrigando a uma atenção redobrada por parte do utilizador na definição das características térmicas do edifício.

Segundo Mitalas e Stephenson (1967), ainda nesse ano, foi proposto o método do factor de resposta térmica para o cálculo de cargas térmicas tendo sido a partir deste método que surgiu o método das funções de transferência. Este método consegue inserir o efeito da inércia térmica e deste modo atrasar as cargas térmicas, aparecendo no manual da ASHRAE em 1972.

Ainda na década de 70 surgiu o método da diferença de temperatura semelhante ao TETD/TA, mas com mais informação que este, recorrendo ao método das funções de transferência (TFM), sendo utilizado para cálculos manuais.

Posteriormente efectuaram-se mais projectos de investigação determinantes para o desenvolvimento dos métodos de cálculos de cargas térmicas.

Assim, em 1992 foram apresentadas três metodologias revistas para o cálculo de cargas térmicas na publicação da 2ª edição do ASHRAE - Cooling and Heating Load Calculation Manual (Splitter & McQuiston, 1992), sendo elas, TFM, CLTD/SCL/CLF e TETD/TA.

Contudo, após esta publicação estes métodos ainda não eram satisfatórios pelo que em 1996 a ASHRAE lançou outro projecto de investigação de forma a substituir os três métodos de cálculos anteriores pelo Método do balanço energético (HBM) e pelo Método das séries radiactivas (RTS).



Estes métodos actualmente fazem parte de ASHRAE – Handbook – Fundamentals - SI Units de 2009, embora os restantes ainda sejam utilizados regularmente.

#### **2.4.1. Método da diferença de temperatura diferencial (TETD/TA)**

No método TETD/TA - *Total Equivalent Temperature Differential / Time Averaging*, tenta-se introduzir o efeito da radiação solar incidente, nomeadamente o processo de absorção de radiação pela superfície e as trocas de energia no domínio da radiação infravermelha devido às diferenças de temperatura entre o ar exterior e a temperatura aparente do céu.

Este método pode ser considerado um dos antecessores do método das funções de transferência, sendo destinado a cálculos manuais. Este pretende ser um método relativamente simples de conversão de ganhos internos em cargas térmicas, porém o processo de cálculo através da média temporal pode tornar-se pouco rigoroso e sujeito a erros.

#### **2.4.2. Método das funções de transferência (TFM)**

O Método das funções de transferência relaciona as cargas térmicas dentro de um espaço com os ganhos térmicos. Uma função de transferência é uma representação matemática da relação entre a entrada e a saída de um determinado sistema.

Este método pretende ser utilizado com recurso a programação numérica, contudo, usa algumas das premissas dos seus antecessores, nomeadamente no cálculo dos ganhos internos através da iluminação, que assumem serem iguais ao consumo eléctrico das mesmas. No entanto, existem algumas diferenças no cálculo de ganhos internos através da envolvente opaca, aqui já não é efectuado o cálculo através do método da diferença de temperatura diferencial (TETD/TA), utilizando a temperatura solar adequada, relacionando isso com o uso de funções de transferência associadas a cada um dos elementos construtivos de forma a representar o intervalo de tempo entre um ganho interno e a conversão em carga térmica a ser eliminada.

A diferença entre o TETD/TA e o TFM está nos factores de peso (coeficientes) aplicados a cada tipo de ganho interno, e o facto de este aplicar coeficientes diferentes consoante o tipo de ganho interno, radiação solar incidente sem sombreamento interior, condução através da envolvente opaca, iluminação, ocupação, entre outros. Como resultado as cargas térmicas por este método são mais realistas.

### 2.4.3. Método da diferença de temperatura (CLTD/SCL/CLF)

O método da diferença de temperatura (CLTD/SCL/CLF - *Cooling Load Temperature Difference/ Solar Cooling Load Factor/ Cooling Load Factor*) abrange a falha de tempo associado aos ganhos internos por condução através de superfícies exteriores opacas e o atraso de tempo na conversão de ganhos térmicos por radiação em cargas térmicas do espaço.

Esta metodologia possibilita o cálculo manual das cargas térmicas de um espaço, através do uso de coeficientes multiplicativos.

- **CLF**, representa o facto de que um ganho interno radiactivo não se transforma automaticamente em carga térmica num espaço. Estes factores pretendem servir como acerto aos ganhos internos através de cargas internas no espaço, nomeadamente iluminação, ocupação, entre outros;
- **CLTD**, diferença de temperatura teórica que demonstra o efeito combinado da diferença de temperatura entre o ar interior e o ar exterior à zona, variação de temperatura ao longo de um dia, radiação solar e fenómeno de inércia térmica. Estes factores procuram servir como ajuste aos ganhos internos por condução através da envolvente opaca e envidraçada;
- **SCL**, estes factores pretendem apresentar os ganhos internos por transmissão a partir da envolvente envidraçada.

Também se criam cargas térmicas de uma zona a partir de ganhos internos no espaço, nomeadamente ocupação, iluminação, entre outros, sendo que a carga de iluminação só tem componente sensível. A conversão destas cargas sensíveis em carga térmica no espaço também é influenciada pela capacidade de armazenamento térmico do espaço (inércia) sendo sujeita à aplicação dos factores de correcção CLF.

### 2.4.4. Método do balanço energético (HBM)

Segundo ASHRAE, o Método do balanço energético (HBM - *Heat Balance Method*) baseia-se num balanço energético aplicado às superfícies interiores e exteriores da envolvente opaca e envidraçada e ao ar interior da zona.

O HBM supõe algumas aproximações, tais como:

- Superfícies radiactivas difusas;
- Condução unidimensional através das superfícies;
- Temperaturas interiores uniformes das zonas.

Este método pode ainda ser decomposto em quatro processos distintos, sendo eles:

- Condução de energia através das paredes;
- Balanço energético às superfícies interiores;
- Balanço energético às superfícies exteriores;
- Balanço energético ao ar.

Este método presume que se defina pelo menos uma zona térmica, ou seja, uma zona com uma determinada temperatura de conforto definida. Esta zona diz respeito a quatro paredes, uma cobertura e um pavimento, que tanto podem ser interiores como exteriores, abrangendo o efeito de inércia térmica dos componentes construtivos. O processo de balanço energético para esta zona genérica envolve análises de 24 horas por dia às temperaturas interiores e exteriores às superfícies da zona e ao sistema de AVAC. Dentro das cargas internas é essencial especificar as parcelas sensíveis e latentes com o tipo de geração.

#### **2.4.5. Método das séries temporais radiactivas (RTS)**

O método das séries temporais radiactivas é uma simplificação que deriva do HBM mas que não envolve do balanço de calor. Este substitui o TFM, o CLTD/SCL/CLF e o TETD/TA de modo eficaz.

Neste os ganhos de calor por condução são calculados para cada tipo de parede e de cobertura recorrendo a 24 factores de resposta. A formulação desses factores de resposta leva a uma solução transiente para o fluxo de calor por condução unidimensional.

O cálculo das trocas de calor no interior das divisões é feito tendo em consideração as trocas de calor por convecção entre as superfícies e o ar e posteriormente as trocas de calor por radiação entre as diferentes superfícies. Este cálculo é muito complexo uma vez que implica calcular a distribuição de temperatura nas paredes e em objectos, o que depende das trocas de calor nas superfícies e da quantidade de material sólido associado.

Neste método os cálculos das cargas térmicas (ocupantes, iluminação e ocupantes) são efectuados separando as trocas por convecção (imediatas), das trocas por radiação que inserem um atraso no tempo, pois o seu efeito não se faz sentir imediatamente no ar, por causa das transferências através de outras superfícies.

Este converte a fracção radiactiva dos ganhos térmicos em carga térmica a ser tratada a partir de factores ponderativos que funcionam como factores de resposta que determinam a carga térmica a ser inserida no espaço baseando-se no ganho térmico do instante analisado e nos anteriores.

Os factores de resposta utilizados são de dois tipos, sendo eles, um para ganhos internos através da transmissão de radiação solar e outro para todos os tipos de ganhos internos.

## **2.5. Simulação dinâmica - Norma ASHRAE 140-2004**

A simulação dinâmica é um método e análise computacional do perfil e consumos energéticos do edifício. Esta pressupõe a existência prévia de uma análise de campo, do ponto de vista da envolvente, dos equipamentos, da iluminação, dos sistemas de climatização e do tratamento do ar, ocupação, horários de funcionamento bem como de algumas medições nomeadamente de ar novo e eficiências de equipamentos de climatização, entre outros.

A simulação dinâmica pode dividir-se em simulação real e simulação nominal, a simulação em condições reais tem como objectivo a calibração do modelo computacional através da comparação entre os consumos energéticos reais, descritos nas facturas ou conseguidos através de contagens no local, com os consumos obtidos numericamente, validando assim o modelo sempre que a diferença entre eles seja inferior ou menor que 10%.

Após essa validação executar a simulação em condições nominais, onde se mantém parte das características reais do edifício, nomeadamente a envolventes, a sistemas de climatização e iluminação, substituindo todos os horários, ocupação, temperaturas de conforto, densidades de equipamento e caudais de ar novo impostos pelo regulamento para cada tipo de espaço.

Também é nesta fase que é necessário escolher o programa que, de acordo com a legislação, tem de estar acreditado pela norma ASHRAE 140-2004.

Esta norma introduziu um programa rigoroso de testes e validação dos vários programas, de forma a avaliar o rigor de cada um, através da identificação de diferenças nos resultados obtidos através dos diferentes algoritmos envolvidos, limitações e erros de código.

Como resultado deste programa de testes e validação de resultados, surgiu uma lista de programas acreditados tais como: *BLAST*, *DOE-2*, *ESP*, *TRNSYS*, *CLIM2000* e *EnergyPlus*.

Segundo Judkoff & Neymark (International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, 1995), a norma *ANSI/ASHRAE*, que utilizava a metodologia BESTEST, antecedeu a ASHRAE 140-2004, esta metodologia teve origem a partir de um projecto desenvolvido pela *Internacional Energy Agency (IEA)* que tinha como objectivo desenvolver um procedimento de verificação analítica, empírica e de comparação entre programas de simulação dinâmica.

Os primeiros testes pretendiam averiguar o impacto da inércia térmica de um edifício e abrangiam casos simples e casos mais complexos, os simples tinham como objectivo analisar a livre evolução da temperatura dentro de uma zona, já os mais complexos pretendia, servir como diagnóstico de diferenças mais específicas nos algoritmos dentro de cada programa (EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST), 2004).

A metodologia *BESTEST* teve uma revisão, a *HVAC BESTEST*, que tinha como objectivo analisar o tratamento dado pelos programas de simulação dinâmica de edifícios às cargas térmicas das zonas tendo em consideração sistemas de climatização e de ventilação mecânica, e a sensibilidade a temperaturas interiores e exteriores.

Esta metodologia verificou o comportamento dos programas para uma serie de casos concretos em que o sistema de climatização e tratamento de ar era relativamente simples e fácil de parametrizar.

No caso real de um sistema de climatização e tratamento de ar mais complexo e difícil de parametrizar computacionalmente, não é certo que se consiga obter resultados semelhantes.

Após a elaboração da lista inicial, programas como o *TRACE 700*, *HAP 4.31* e *VisualDOE4.1* foram acreditados no âmbito da presente norma (TRANE, 2006).

## 2.6. Programas de simulação dinâmica detalhada

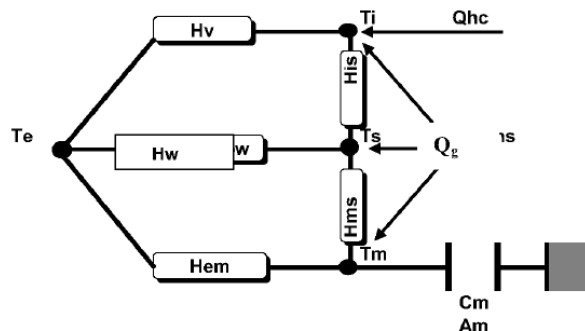
A simulação dinâmica detalhada permite uma análise multizona do desempenho energético do edifício, isto é, permite que sejam consideradas e simuladas simultaneamente múltiplas zonas do edifício. No anexo VIII do RSECE, estão definidos os aspectos que este modelo de simulação deve incluir e que vão desde as características da envolvente do edifício até às condições climáticas exteriores e interiores, passando pelos sistemas de climatização, ventilação, iluminação, AQS, sistemas solares passivos e protecções solares.

Dependendo do programa utilizado, é possível obter dados de consumos desagregados, temperatura dos espaços numa base horária, perfis de necessidade de aquecimento e arrefecimento também numa base horária, etc. No âmbito do RSECE, este é o tipo de simulação que se tem de utilizar para grandes edifícios de serviços na determinação dos consumos globais específicos de energia e no dimensionamento de sistemas de climatização.

### 2.6.1. RCCTE-STE

O *RCCTE-STE* é um programa desenvolvido pelo Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI) para verificação do RCCTE e RSECE, baseando-se numa simulação horária anual de um espaço tipo monozona, embora seja possível simular mais de uma tipologia para determinado edifício. Pode também ser considerado como simulação detalhada multizona desde que seja aplicado isoladamente a cada zona distinta de um edifício e os respectivos resultados sejam devidamente adicionados para obter o desempenho energético global do edifício.

Segundo o Decreto-Lei n.º 79/2006 o programa tem por base um circuito de analogia reo-eléctrica (resistências e capacitâncias), como se observa na seguinte Figura 2.15.



**Figura 2.15** – Circuito analogia reo-eléctrica do funcionamento do programa RCCTE-STE (reproduzido de Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, 2006).

Este modelo integra uma base interna de dados climáticos para todos os concelhos de Portugal em consonância com a divisão climática do país para efeitos de aplicação do RCCTE e RSECE (Continente e Regiões Autónomas).

Os nós deste modelo representam:

- $T_e$ , temperatura exterior;
- $T_i$ , temperatura interior;
- $T_s$ , temperatura média nas superfícies interiores da envolvente;
- $T_m$ , temperatura média da massa térmica dos elementos do espaço.

As resistências indicam a transferência de calor correspondente a:

- $H_v$ , trocas de ar;
- $H_w$ , condução de calor através dos vãos envidraçados (elementos sem massa térmica);
- $H_{em}$ , condução de calor através da envolvente opaca, sem ter em conta o efeito da radiação solar incidente;
- $H_{ms}$ , transferência de calor entre a massa de armazenamento térmica e a superfície;
- $H_{is}$ , trocas radiactivas e convectivas entre as superfícies da envolvente interior.

O programa efectua um balanço dinâmico do espaço, contabilizando, em cada hora, as diferenças entre as perdas e os ganhos térmicos, pelos vãos envidraçados e pela envolvente opaca, bem como os ganhos internos e ventilação, e tem em conta a energia armazenada na massa térmica em cada momento, concentrada no nó  $T_m$ .

$$Q_{hc} = Q_v + Q_w + Q_{em} + Q_g \quad (1)$$

O diagrama representa as diferentes componentes do balanço térmico, através de fluxos e resistências térmicas,

- $Q_{hc}$ , energia necessária para climatização (aquecimento e arrefecimento resultante do balanço horário do espaço);
- $Q_v$ , ganhos ou perdas de calor correspondentes à renovação do ar;
- $Q_w$ , ganho ou perda de calor correspondente às trocas de calor por condução através dos vãos envidraçados;

- $Q_{em}$ , ganho ou perda de calor correspondente às trocas de calor por condução através da envolvente opaca;
- $Q_g$ , ganhos internos instantâneos (ocupação, equipamentos e iluminação), ganhos solares através dos envidraçados e ganhos solares através da envolvente opaca, tendo em conta o efeito da inércia térmica do espaço.

O RSECE, no n.º1 do seu Art.13º, admite que este método de simulação seja utilizado para determinação das necessidades e consumos energéticos específicos, bem como para o dimensionamento de sistemas, em pequenos edifícios de serviços e em edifícios residenciais.

#### **2.6.1.1. Funcionamento**

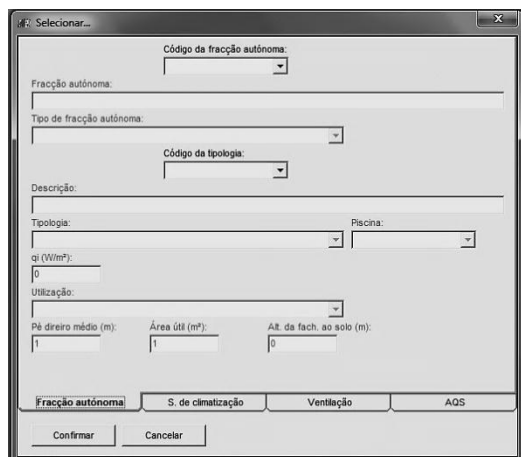
Numa primeira fase, Figura 2.16, é necessário introduzir informações baseadas na localização geográfica, tipo de fracção, tipologia de fracção, tipo de sistema de climatização, produção de águas quentes sanitárias e descrição do processo de ventilação.

Numa segunda fase, Figura 2.17, são inseridas informações sobre a caracterização geométricas e das propriedades dos elementos que compõem a envolvente da fracção.

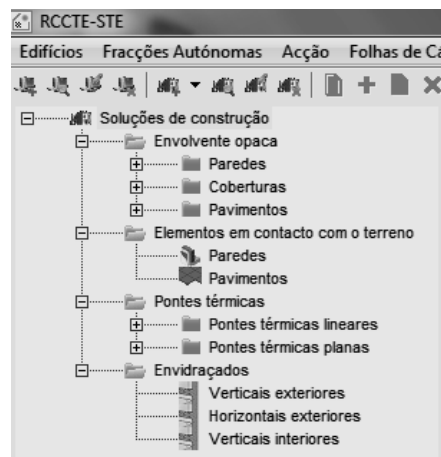
A introdução de dados contempla:

- Introdução de áreas;
- Introdução de coeficientes de transmissão térmica associados aos vários elementos da envolvente;
- Introdução de perdas associadas às pontes térmicas;
- Factores solares e sombreamentos dos vãos envidraçados;
- Elementos caracterizadores da ventilação associada à fracção autónoma;
- Definição de equipamentos, e respectivas eficiências, para aquecimento, arrefecimento e produção de AQS.





**Figura 2.16** – Primeira fase de introdução de dados do programa RCCTE-STE.



**Figura 2.17** – Segunda fase de introdução de dados do programa RCCTE-STE.

De seguida, e de modo automático, o programa efectua o cálculo de verificação de RCCTE. Como output obtêm-se as fichas exigidas pelo regulamento, da conformidade regulamentar da fracção, e um conjunto de quadros que reúne toda a informação inserida e ilustra de que forma é que a mesma foi utilizada.

Na terceira fase, simulação térmica de edifícios, o utilizador insere os perfis das cargas térmicas e os consumos das AQS e outros equipamentos. Posto isto, verifica-se o RSECE e obtêm-se como output o cálculo do IEE e as necessidades térmicas do edifício, aquecimento e arrefecimento, ao longo de todo o ano.

### 2.6.1.2. Limitações do programa

O *RCCTE-STE* sendo um programa de fácil introdução de dados, na aplicação do RCCTE, possui algumas limitações aliados à própria simplificação que podem condicionar o utilizador na aplicação de alguns casos. De acordo com a Adene (2012), quando deparadas com estas situações, devemos recorrer a programas de simulação detalhada de forma a ultrapassar estas limitações, tais como:

- Carga térmica (aquecimento e arrefecimento): impacto de geometrias complexas, variação caudal do ar novo com a ocupação, efeito iluminação natural;
- Sistemas de climatização: impacto da utilização de sistemas de arrefecimento gratuito e outros sistemas, impactos dos ventiladores na carga térmica, bem como o impacto energético da utilização de velocidade variável;

- Consumos iluminação e equipamentos: consideração de consumos horários de alguns equipamentos (ex.: cozinhas, garagens, lavandarias);
- Central térmica: consumos horários de electricidade e AQS, carga térmica das bombas de circulação ou impacto energético da utilização de velocidade variável, centrais térmicas complexas ou com recuperação de energia, como sejam a cogeração ou depósitos de acumulação de energia térmica, curvas de eficiência dos equipamentos, controlo dos equipamentos;
- Simulação e tarifários de energia: análises de viabilidade económica.

### **2.6.2. CYPETERM**

O *Cypeterm* é um programa desenvolvido para Portugal especificamente para dar resposta ao projecto de verificação das características de comportamento térmico dos edifícios de acordo com o Decreto-Lei n.º 80/2006 e Nota Técnica NT-SCE-01 (Despacho n.º 11020/2009).

O programa efectua o cálculo com base na modelação tridimensional de edifícios de forma gráfica e tem por objectivo o cálculo e verificação de edifícios de modo a garantir condições de conforto térmico, isto sem necessidades excessivas de energia e com minimização das condensações superficiais no interior dos elementos da envolvente, tal como preconiza o regulamento.

Fornece as listagens e desenhos segundo o RCCTE e indicações da ADENE (2012). Poderão ser imprimidos directamente, exportados para ficheiros ou utilizados para preenchimento de declarações de conformidade regulamentar (DCR) e certificados energéticos (CE).

O novo regulamento apresenta alguma complexidade na análise de certos parâmetros. O programa procura que o utilizador não tenha que estar sucessivamente a consultar o regulamento, o que, dada a demora, poderia fazer diminuir a qualidade do projecto. O programa é uma ferramenta de cálculo, como tal o utilizador deve conhecer o regulamento e efectuar uma análise cuidada dos resultados apresentados por este e completá-los de modo a cumprir todos os requisitos regulamentares.

### 2.6.2.1. Regulamento

Para a análise das verificações a realizar, a referência principal do programa é o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto-Lei n.º 80/2006).

Existem também publicações e outros elementos nas quais o programa obtém informação necessária para o dimensionamento, como é o caso dos ‘Coeficientes de Transmissão Térmica em Edifícios’ do LNEC e Nota Técnica NT-SCE-01 (Despacho n.º 11020/2009).

### 2.6.2.2. Funcionamento

Os elementos utilizados na obra, tais como paredes, pavimentos e coberturas, estão parametrizados no programa e podem ser configurados de acordo com as necessidades do utilizador.

Normalmente, o utilizador começa por definir as paredes exteriores e interiores, de seguida introduz os pavimentos e coberturas e por fim os envidraçados, tudo isto graficamente. Passa-se à descrição dos compartimentos que fundamentalmente se distinguem entre locais úteis e não úteis, premindo sobre os espaços delimitados pelas paredes. Torna-se então necessário agrupar os diversos compartimentos em fracções autónomas. Neste ponto definem-se dados de equipamentos e a contribuição de energias renováveis e de ventilação. Na Figura 2.18 podemos visualizar os menus do programa.

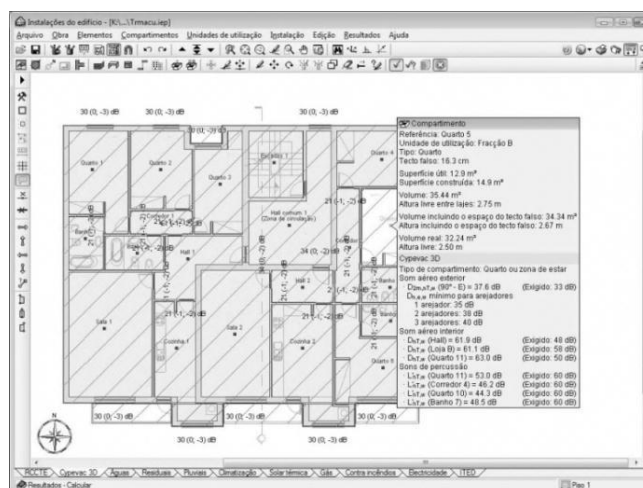


Figura 2.18 – Ambiente de trabalho do Cyperterm (reproduzido de Top Informática, 2012).

O programa calcula e verifica automaticamente diversos dados, tais como coeficientes de transmissão térmica, áreas úteis, áreas por orientação, factores solares, factores de obstrução, consumos de AQS, inércia térmica, requisitos mínimos, entre outros.

De um modo geral o programa tem dois grupos principais, desenvolvido para a realização do projecto de climatização do edifício:

- **Cargas térmicas:**

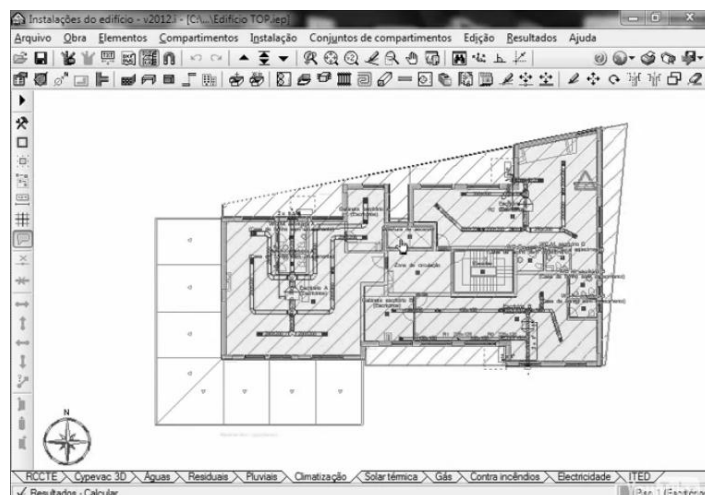
A introdução de dados neste módulo envolve:

- Definição do tipo e dados de projecto;
- Definição da localização da obra;
- Definição das plantas;
- Introdução das paredes (interiores e exteriores) e muros;
- Introdução das aberturas (janelas, portas e clarabóias);
- Introdução das lajes (térreas ou ventiladas, entre pisos, cobertura plana ou inclinada);
- Definição da utilização de cada compartimento (quarto, local não climatizado, etc.);
- Criação de agrupamentos de compartimentos que correspondem a fracções;

Trata-se de um programa que visa o cálculo automático das cargas térmicas.

- **Climatização:**

Possibilita a definição e introdução de equipamentos (bombas de calor, ventiloconvectores, etc.), de tubagens, condutas, difusores e radiadores entre outros. O programa faz o dimensionamento completo do sistema utilizando equipamentos de casa comerciais. Na seguinte figura podemos observar a introdução dos equipamentos de climatização no programa.



**Figura 2.19** – Módulo de climatização no programa Cypeterm (reproduzido de Top Informática, 2012).

O programa permite ainda obter listagens justificativas do cálculo, de medição e descrição dos elementos utilizados no cálculo, de dados para preenchimento da DCR, do resumo da classe energética e do relatório-síntese, no caso dos edifícios existentes. Estas listagens permitem ao utilizador verificar rapidamente o cálculo efectuado, conhecer medições para obra e reduzir o tempo de preenchimento da DCR na ADENE. Permitem ainda identificar a ordem de grandeza das diferenças para alteração de classe e justificar todas as opções utilizadas nas fracções existentes.

Permite a exportação em formato XML (*Extensible Markup Language*) e a obtenção do relatório de peritagem. É possível obter desenhos definidores das envolventes térmicas dos edifícios de forma automática. As listagens e desenhos podem ser directamente impressas ou enviadas para ficheiros para posterior edição em programas de edição de texto e desenho.

### 2.6.3. EnergyPlus

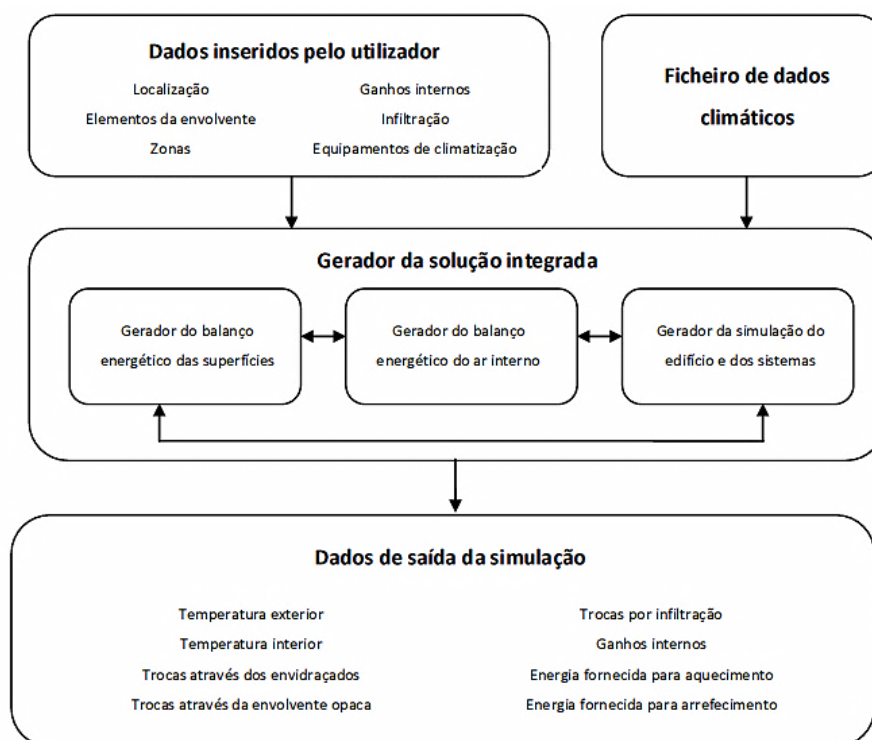
O *EnergyPlus* é um programa de simulação energética em edifícios, direccionado para a modelação de sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação e outros fluxos energéticos. É uma ferramenta gratuita que começou a ser desenvolvida em 1995 pelo Departamento de Energia dos EUA (DOE). O governo norte-americano, até essa data, financiava duas ferramentas distintas de simulação energética, o *BLAST*, do Departamento de Defesa, e o *DOE-2*, do Departamento de Energia, mas com finalidades iguais. Sendo que o código e sub-rotinas destas duas ferramentas foram implementadas no final da década de 1960, o qual se previa que o seu desenvolvimento seria de difícil realização, o governo norte-americano decidiu

uni-las num só programa, o *EnergyPlus*. Este foi desenvolvido à medida que crescia a necessidade de ter um programa que garantisse soluções integradas que incluíssem não só o cálculo de cargas térmicas mas também um estudo mais detalhado do impacto dos sistemas de climatização e ventilação nos consumos energéticos totais de um edifício. O método de cálculo fundamental do programa baseia-se no balanço de energia no qual a temperatura do ar contido dentro dos espaços é considerada uniforme.

O *EnergyPlus* permite simular vários aspectos, a geometria, os elementos da envolvente ou sistemas de climatização que são incorporados nos edifícios, o que o torna num bom programa quando se deseja encontrar soluções favoráveis para o isolamento das zonas estudadas.

Embora tenha um ambiente gráfico pouco atraente, detém imensas capacidades que o torna numa ferramenta útil, destacando-se o sistema modular que permite definir várias zonas e, de forma diferenciada, a infiltração ou os ganhos internos para cada zona. O programa fornece os dados resultantes da simulação em intervalos de tempo (*time-step*) máximos de uma hora, podendo o utilizador escolher intervalos mais curtos.

O cálculo das necessidades energéticas de um dado edifício é executado pelo *EnergyPlus* a partir dos dados inseridos pelo utilizador (geometria, materiais da envolvente, sistemas de climatização), recorrendo a um ficheiro de dados climáticos do local de implantação do edifício e gerando o balanço energético com recursos aos diferentes módulos que compõem o programa. A Figura 2.20 mostra o esquema geral de funcionamento do *EnergyPlus*.



**Figura 2.20** – Esquema geral de funcionamento do *EnergyPlus* (reproduzido de Gouveia, 2008)

Sendo o *EnergyPlus* um motor de simulação de aspecto pouco interactivo, este pode ser utilizado em conjunto com uma interface gráfica que facilite a parametrização (geometria, envolvente, ocupação, iluminação, etc.). Um dos programas que se pode visualizar/parametrizar os dados de entrada do *EnergyPlus* é o *DesignBuilder*. Este auxilia o utilizador na criação e parametrização do modelo 3D, apesar de apresentar limitações do ponto de vista da parametrização do sistema de AVAC, apresentando poucas soluções para sistemas de produção térmica e ventilação. Assim sendo, caso o utilizador pretenda parametrizar o sistema de AVAC de forma rigorosa, impõe-se que o faça no próprio *DesignBuilder*.

Nos arquivos de saída de dados, o programa exhibe um ficheiro de erros, no qual o utilizador, caso existam erros, possa proceder à sua rápida detecção e correcção. Apresenta um ficheiro em formato CAD com a geometria modelada, um ficheiro listando os resultados, um ficheiro com o arquivo de parâmetros da simulação e a lista dos cálculos das funções de transferência por condução e um ficheiro em que o programa lista todo o arquivo de variáveis de saída para a simulação.

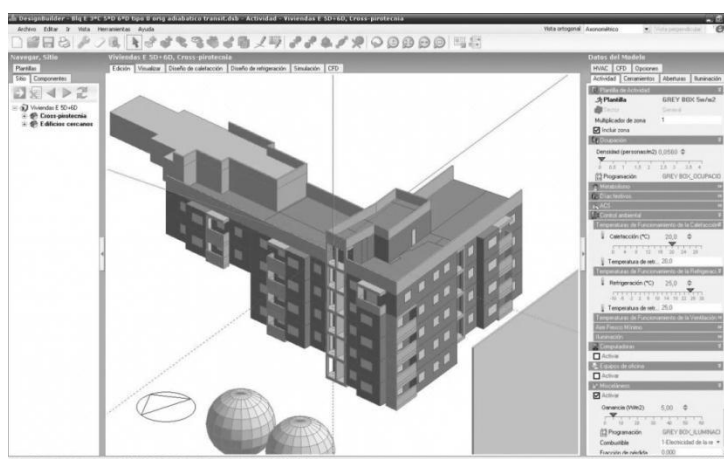
### 2.6.4. DesignBuilder

O *DesignBuilder* é o primeiro interface gráfico exaustivo para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*, que contém um conjunto de ferramentas que tornam acessível a introdução de geometrias e consequente modelação do edifício. Este possui um módulo denominado IEE, módulo principal da versão portuguesa, que permite usar a caracterização do edifício e os resultados da simulação dinâmica detalhada, de forma a calcular os seguintes parâmetros:

- Factor de forma e factores de correcção climática de Inverno e de Verão;
- IEE limite e parâmetro S ponderados;
- Indicador de eficiência energética;
- Classe energética;
- Consumos energéticos.

#### 2.6.4.1. Características

O programa possui uma plataforma de modelação de edifícios em 3D de fácil e rápida utilização, tendo disponível elementos realísticos que facultam de forma visual detalhes como espessuras de paredes, janelas, lajes, caixilhos e permitem uma visualização de áreas e volumes. É possível importar ficheiros CAD para ajudar na criação das geometrias 3D. Na seguinte figura podemos observar a criação de “blocos” desenhados num espaço 3D.



**Figura 2.21** – Comandos do programa *DesignBuilder* (reproduzido de CapturaIncreible, 2010).



#### **2.6.4.2. Funcionalidades**

O programa contém uma grande diversidade de dados relativos a vários aspectos utilizados na simulação dinâmica, sendo eles, materiais de construção, elementos de envolventes, ganhos internos (ocupação, iluminação e equipamentos) e sistemas de climatização. O programa permite que se defina e altere de forma rápida as características do edifício, desde o nível mais geral (edifício) até ao nível mais detalhado (partes constituintes das zonas).

Quanto ao dimensionamento das unidades de climatização é realizado com base nos dados climáticos. Existem dois tipos de simulação de sistemas, *Simple* e *Detailed*. Na simulação *Simple*, é criado um modelo de climatização “ideal” de forma a manter as temperaturas nos intervalos escolhidos. Na simulação *Detailed* são usados *templates Compact HVAC* do programa *EnergyPlus* que possibilitam a criação de sistemas complexos. O programa possui ainda uma funcionalidade, gráficos de análise paramétrica, que possibilita a interpretação dos efeitos de variações em vários tipos de parâmetros construtivos.

Por fim, os dados das simulações são apresentados sem necessidade de se recorrer a módulos externos. Estes podem ser disponibilizados em diversos períodos de tempo (anuais, mensais, diários, horários e sub-horários), da mesma forma que o consumo energético é discriminado por fins (aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, equipamentos), por formas de energia usadas no edifício (electricidade, gás natural, biomassa, etc.), temperaturas do ar interior, humidade relativa, índices de conforto, dados climatéricos do local, transmissão de calor através das envolventes (paredes, coberturas, ventilação), cargas de aquecimento e climatização, produção de CO<sub>2</sub>.

#### **2.6.5. Trace 700**

O *Trane Air Conditioning Economics, TRACE*, é um programa que possibilita a simulação energética de edifícios, a análise de cargas térmicas e sistemas de climatização do ponto de vista energético e económico, possibilitando a optimização do sistema de climatização e de ar novo de um edifício através da análise económica do ciclo de vida da instalação.

O *TRACE 700* é um programa de interface intuitiva e de fácil interacção com o utilizador, sendo possível inserir e alterar detalhes da construção e modificar o modelo a qualquer momento durante o projecto do sistema de climatização. O programa contém bibliotecas com informações

de materiais de construção, arranjos construtivos, cargas internas (pessoas e equipamentos), programação de funcionamento do edifício e equipamentos de climatização e uma base de dados climáticos baseada em 24 horas de um dia típico por mês, resultando na perda de rigor dos valores calculados ao longo do ano. Existe a possibilidade de importar um ficheiro climático com dados para as 8760 horas do ano, estes ficheiros tem a extensão *TMY (Typical Meteorological Year)* e consistem em valores anuais obtidos através da combinação de informação obtida ao longo de vários anos.

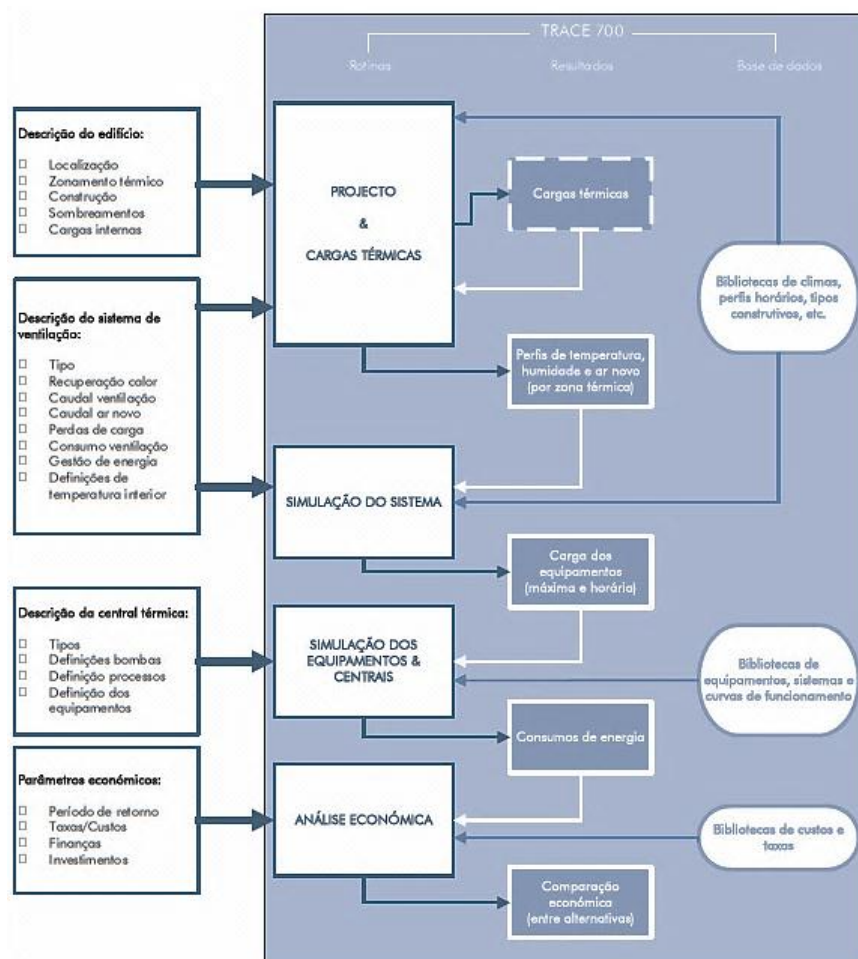
#### **2.6.5.1. Funcionamento**

O programa é constituído por cinco fases: *Load Phase*, *Design Phase*, *Air Side System simulations Phase*, *Equipment Simulation Phase* e *Economic Analysis Phase*. Estas funções devem ser realizadas em conjunto de forma a obtermos uma análise energética e económica completa.

1. ***Load Phase***, são realizados os cálculos das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento tendo por base a envolvente opaca e vãos envidraçados, horários de funcionamento, iluminação, equipamentos, orientação das zonas e a zona climática em que se encontra o edifício. Os cálculos obtidos de forma a simular a operação real do sistema de climatização e de ar novo ao longo de um ano de funcionamento de um edifício, permite avaliar a eficácia do sistema projectado e os custos anuais associados.
2. ***Design Phase***, são efectuados cálculos de cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento nas condições de projecto e a quantidade de ar exterior necessária, entrando com dados relativos ao sistema de climatização a utilizar e os dados mencionados na primeira fase.
3. ***Air Side System simulations Phase***, analisa os ganhos térmicos do edifício e as perdas por atrito dos equipamentos de AVAC envolvidos para os fluxos de ar, no funcionamento geral do sistema de climatização e tratamento de ar. O produto final desta fase é a carga horária dos equipamentos por cada sistema de tratamento de ar.
4. ***Equipment Simulation Phase***, é necessário entrar com dados referentes ao tipo de centrais de produção de energia térmica, bombas, etc., de modo a obtermos as cargas dos equipamentos em consumo energético por fonte.

5. **Economic Analysis Phase**, permite comparar diversas alternativas e otimizar o sistema a ser implantado, introduzindo dados referentes aos custos de instalação, manutenção, períodos de amortização, entre outros.

Na seguinte figura podemos observar o processo de modelação do programa *TRACE 700*.



**Figura 2.22** – Processo de modelação efectuado no *TRACE 700* (reproduzido de Santos, 2009).

## 2.6.6. TRNSYS

O *TRNSYS* (*TRaNsient SYstem Simulation program*) é uma ferramenta computacional de simulação energética desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade de Wisconsin-Madison, dos Estados Unidos da América. Começou por ser comercializado em 1975 sendo originalmente concebido para simular o desempenho de sistemas de aquecimento de água, no entanto, ao longo do tempo beneficiou de melhorias significativas virtude da contribuição de inúmeros especialistas. A sua utilização necessita da aquisição da respectiva licença, adquirida a distribuidores mundiais.

O *TRNSYS* é uma ferramenta de simulação de sistemas transitórios com uma estrutura modular e flexível, sendo a sua utilização adequada para a análise de sistemas em regime transitório. Um dos pontos fortes deste programa é a sua versatilidade, permitindo a simulação de um edifício e de vários sistemas associados, como por exemplo, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, distribuição de água quente, sistemas de recolha de energia solar, entre outras aplicações. A elaboração de um sistema consiste na definição dos seus modelos de componentes (*Types*) e a interligação dos seus dados (*Connections*), possuindo cada componente um conjunto pré-definido de dados de entrada e saída (Costa, 2012).

#### **2.6.6.1. Estrutura**

O programa *TRNSYS* consiste em três subprogramas:

- *TRNSYS Simulation Studio* – criação dos sistemas com os devidos componentes e ligações;
- *TRNBuild* – introdução de dados específicos para os edifícios;
- *TRNEdit* – permite a modificação e criação de componentes.

O *TRNSYS* realiza uma simulação dinâmica do sistema com o meio exterior, através de ficheiros climáticos facultados pelo programa *Meteonorm v.5*, pertencente à empresa *METEOTEST*. A base de dados do programa abrange ficheiros climáticos de 237 localidades dos Estados Unidos da América e mais de 1000 localidades em 150 países, das quais 16 são relativas a Portugal, entre elas Angra do Heroísmo, Bragança, Castelo Branco, Coimbra, Corvo, Évora, Faro, Funchal, Lisboa, Penhas Douradas, Ponta Delgada, Porto e Porto Santo (Costa, 2012).

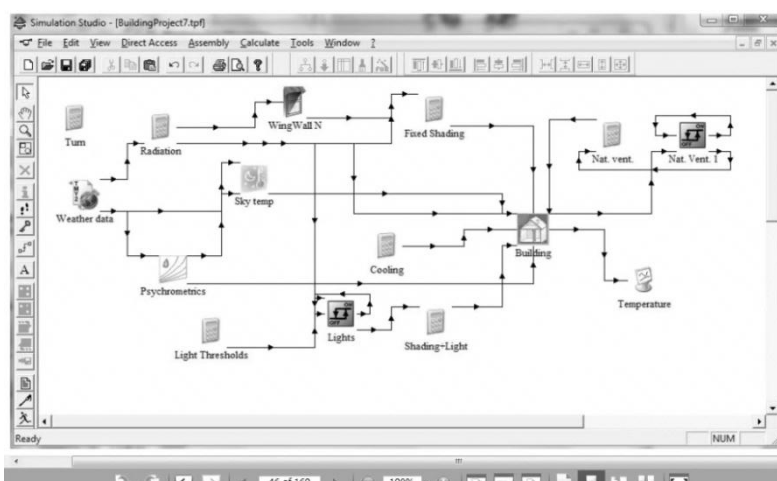
##### **2.6.6.1.1. Simulation Studio**

O principal programa do *TRNSYS* é o *Simulation Studio* no qual são realizados os projectos dos sistemas em análise. O programa apresenta uma biblioteca pré-definida de componentes, designados *Types*, para a elaboração de diversos projectos, divididos em 12 classificações: controladores, eléctricos, permutadores de calor, AVAC, sistemas de hidrogénio, hidráulica, estruturas e cargas (edifícios, janelas e sombreamento), obsoletos, componentes de saída, fenómenos físicos, colectores solares, armazenamento térmico, utilitários e ficheiros climáticos.

Os componentes são ligados através de *Connections*, sendo que os dados de saída de um componente são os dados de entrada de outro. A correcta união dos dados dos componentes de um sistema é fundamental para uma simulação exacta.

O *TRNSYS* apresenta, relativamente à avaliação do comportamento térmico dos edifícios, um assistente virtual que auxilia na criação de um sistema de um edifício multizona constituído por dez procedimentos:

1. *Building Project Multizone* – criação de um novo projecto com base num sistema de um edifício;
2. Criação das zonas térmicas do edifício;
3. Definição da geometria simplificada de cada zona;
4. Definição da orientação do edifício, percentagem de vãos envidraçados em cada fachada e selecção do ficheiro climático a utilizar;
5. Definição dos parâmetros de infiltração (renovações por hora) e ventilação (tipo de ventilação e trocas caloríficas);
6. Introdução das características de aquecimento e arrefecimento, definindo os valores de temperatura desejadas no interior do edifício;
7. Definição da ocupação e iluminação de forma a ser calculada os ganhos internos no interior do edifício;
8. Definição da geometria das palas de sombreamento em cada fachada do edifício;
9. Definição da activação de sombreamentos móveis em cada fachada;
10. Criação do sistema, semelhante ao apresentado na Figura 2.23.



**Figura 2.23** – Interface do programa *Simulation Studio* (reproduzido de Costa, 2012).

A alteração dos parâmetros dos componentes do edifício é efectuada recorrendo ao programa *TRNBuild*.

### 2.6.6.1.2. TRNBuild

O programa *TRNBuild* permite a introdução detalhada dos parâmetros associados ao componente do edifício criado no sistema. Aqui podemos introduzir a geometria do modelo, bem como os seus materiais, soluções construtivas, introdução de dados relativos às condições no interior do edifício, equipamentos utilizados e restantes variáveis de entrada e saída. Na Figura 2.24 podemos observar a interface deste programa, onde se vê três janelas, a primeira referente à designação do projecto e definição de entrada e saída de componentes, a segunda refere-se às zonas térmicas do projecto e a terceira apresenta a definição dos parâmetros da zona térmica.

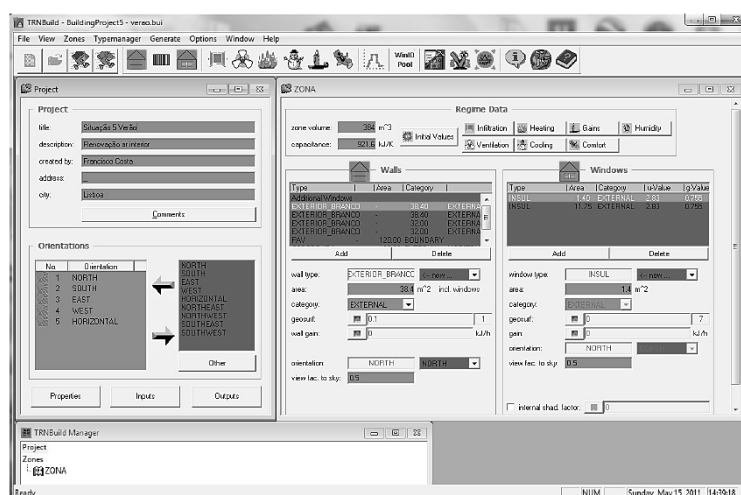


Figura 2.24 – Interface do programa *TRNBuild* (reproduzido de Costa, 2012).

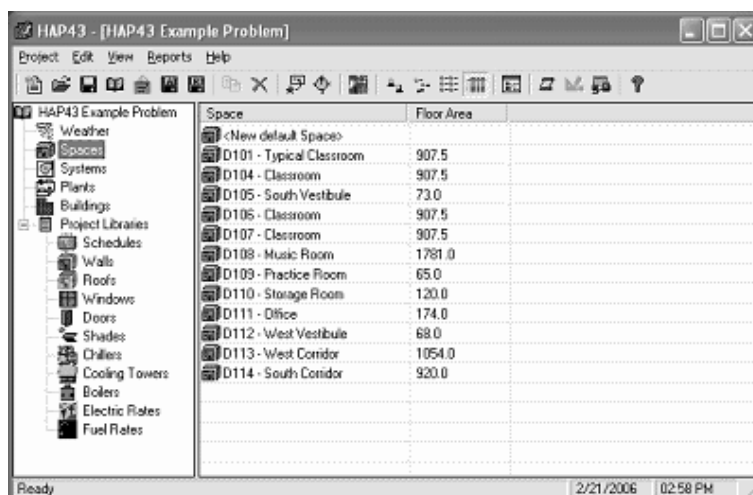
### 2.6.7. Carrier HAP

O programa *Carrier Hourly Analysis Program (HAP)* combina duas poderosas ferramentas num só pacote, o programa oferece recursos versáteis para a concepção de sistemas de climatização de edifícios comerciais e capacidades avançadas de análise de energia de modo a comparar o consumo de energia e os custos operacionais de projectos alternativos. Assim sendo o *HAP* dimensiona sistemas de ar condicionado, de aquecimento e de ventilação, e, ainda simula o desempenho energético de um edifício para o cálculo do consumo de energia e respectivo custo, ao longo de 8760 horas (hora a hora) por ano.

O programa organiza as informações sobre as características do edifício e do sistema AVAC em seis grupos conciliados numa hierarquia que permite uma montagem do edifício e do sistema AVAC de forma flexível. De seguida descrevem-se os grupos:

- **Elementos** – É uma característica da estrutura do edifício e da utilização associada com perda ou ganho de calor. Este grupo inclui componentes como paredes, coberturas, pavimento, iluminação, ocupação e equipamentos.
- **Compartimentos** – Região do edifício compreendida entre elementos construtivos ao qual é insuflado ar.
- **Fracção Autónoma** - Permite criar fracções autónomas e atribuir os respectivos compartimentos.
- **Sistema de ar** – Equipamento utilizado para fornecer aquecimento ou arrefecimento para uma dada região do edifício.
- **Equipamento** – Instrumentos ou dispositivos utilizados para fornecer aquecimento ou arrefecimento ao sistema de ar.
- **Edifício** – Estrutura que engloba o sistema AVAC.

O *HAP* possui uma interface gráfica de modo a visualizar melhor o projecto de e apresenta relatórios com as suas características, estes englobam sínteses e informações detalhadas sobre o edifício, sistema de climatização e desempenho do equipamento. Na figura seguinte está ilustrada o módulo “*Explorer*” do programa, no qual proporciona o acesso rápido e eficiente aos dados do projecto.



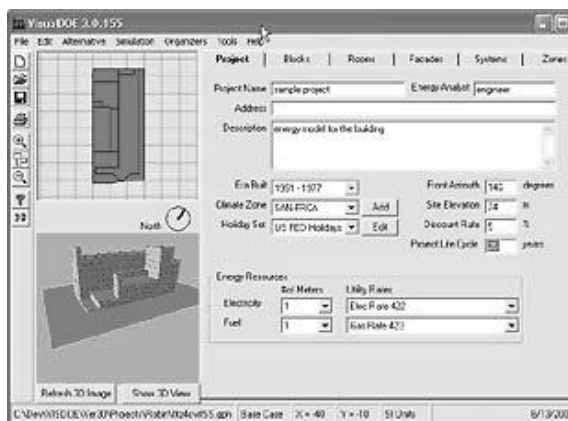
Space	Floor Area
<New default Space>	
D101 - Typical Classroom	907.5
D104 - Classroom	907.5
D105 - South Vestibule	73.0
D106 - Classroom	907.5
D107 - Classroom	907.5
D108 - Music Room	1781.0
D109 - Practice Room	65.0
D110 - Storage Room	120.0
D111 - Office	174.0
D112 - West Vestibule	68.0
D113 - West Corridor	1054.0
D114 - South Corridor	920.0

**Figura 2.25** – Módulo “Explorer” do *Carrier HAP* (reproduzido de CarrierHAP, 2012).

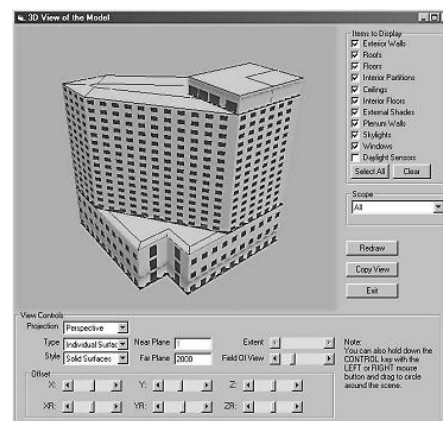
### 2.6.8. VisualDOE4.1

O *VisualDOE* é uma interface gráfica do *DOE-2.1e* que estima com rigor a eficiência energética de um edifício a partir de dados climáticos (temperatura, humidade relativa, radiação solar), elementos construtivos (orientação, localização, materiais, sombreamento), de utilização (número de pessoas, tipo de actividades, horários de trabalho), do ar condicionado (tipo, capacidade, estratégias de funcionamento, temperaturas), tarifários (custos por kWh de consumo) e de operação (horários de funcionamento do edifício e equipamentos).

A interface gráfica do programa é muito simples de utilizar. Na criação do modelo é possível visualizar o edifício e o diagrama do sistema de climatização. Desta maneira a verificação de formas e dimensões das zonas e elementos construtivos é imediata, sendo possível importar ficheiros *CAD*, acelerando deste modo o processo de introdução do edifício no programa. A Figura 2.26 e Figura 2.27 demonstram a interface do programa e a visualização de um edifício em três dimensões. Os diversos parâmetros, como cargas internas, sistemas, materiais de construção, clima, entre outros, podem ser definidos a partir de bibliotecas padrões ou valores fornecidos.



**Figura 2.26** – Interface do programa *VisualDOE* (reproduzido de U.S. Department of Energy, 2012).



**Figura 2.27** – Visualização 3D de um edifício (reproduzido de Architectural Energy, 2012).

No *VisualDOE*, a definição das zonas térmicas é executada de forma simplificada, visto que é utilizado o conceito Bloco, permitindo assim uma introdução das zonas térmicas contíguas, localizadas no mesmo piso e com características comuns.



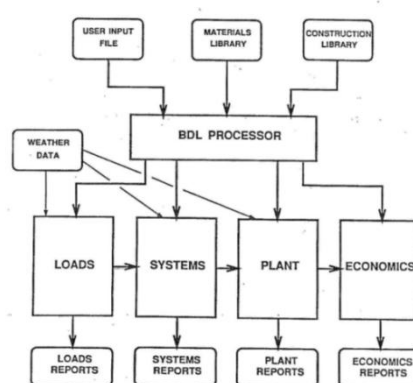
De um modo geral, os dados de entrada no *VisualDOE* podem ser divididos em sete grupos:

- Localização do edifício – Latitude, longitude, azimute, temperatura;
- Materiais de construção – Composição, espessura, condutividade térmica, densidade, calor específico;
- Funcionamento do edifício – Ocupação, iluminação, equipamentos, ventilação, infiltração;
- Sombreamento – Protecção solar, sombreamento da envolvente;
- Definição geral dos espaços – Temperatura, nº de pessoas, cargas internas de iluminação, equipamentos, infiltrações, trocas de ar;
- Definição das zonas – Área, volume, tipo de parede, isolamento, aberturas, piso;
- Sistemas – Todos os sistemas e o seu funcionamento, ajustes de temperatura, taxa de troca de ar.

### 2.6.9. DOE2.1e

O programa *DOE-2* começou a ser desenvolvido em 1976 por James J. Hirsch & Associates (JJH) com a colaboração de *Lawrence Berkeley Laboratory*, tendo sido lançada a primeira versão em 1979. Este foi evoluído até 1999, altura em que pararam o seu progresso em detrimento de programas como *DOE-2.2* e do *EnergyPlus*. O programa *Doe2.1e* é a versão actual.

O *DOE-2* é constituído por dois recursos: um processador de entrada de dados, denominado *Building Description Language* (BDL), no qual se pode inserir os dados referentes ao edifício; e quatro subprogramas denominados *Loads*, *Systems*, *Plant* e *Economics*, que utilizam os dados inseridos para realizar a simulação energética horária do edifício. Na figura seguinte podemos analisar o funcionamento do programa.



**Figura 2.28** – Funcionamento do programa *DOE-2* (reproduzido de DOE-2, 1990).

Os subprogramas incluem as seguintes funcionalidades:

- Cálculo de cargas térmicas horárias de aquecimento e arrefecimento;
- Dimensionamento de potências de aquecimento e arrefecimento do projecto;
- Simulação de sistemas centralizados de produção de água aquecida e de água refrigerada para climatização;
- Simulação de sistemas de acumulação de frio;
- Optimização do dimensionamento de sistemas de acumulação de frio;
- Análise do consumo de energia em edifícios.

O programa contém ainda um programa de impressão de resultados, um processador de dados climatéricos, uma livreria de materiais e elementos construtivos de edifícios e dois programas de cálculo de coeficientes térmicos de elementos construtivos e de cálculo de massas térmicas.

O programa *DOE2.1* utiliza Factores de Ponderação (Weighting Factors) para efectuar o cálculo de cargas térmicas e temperaturas no interior de espaços. O método utilizado na análise energética do edifício denomina-se Método das Funções de Transferência, reproduzindo um ajuste entre métodos simples que ignoram a inércia térmica e modelos complexos que efectuem cálculos de completos balanços energéticos.

Dois dos parâmetros mais importantes na análise energética em edifícios são a taxa de remoção de calor e a temperatura interior num espaço, sendo que o *DOE2.1* utiliza um método de cálculo apoiado em dois passos:

- **Loads**, Cálculo das necessidades de arrefecimento a uma temperatura interior constante, em que os factores de ponderação definem as quantidades de energia que são libertadas ao longo do tempo quando um espaço é submetido a um determinado ganho de calor “instantâneo”;
- **Systems**, Cálculo de temperaturas interiores e necessidades de extracção, recorrendo a factores de ponderação das temperaturas do ar.

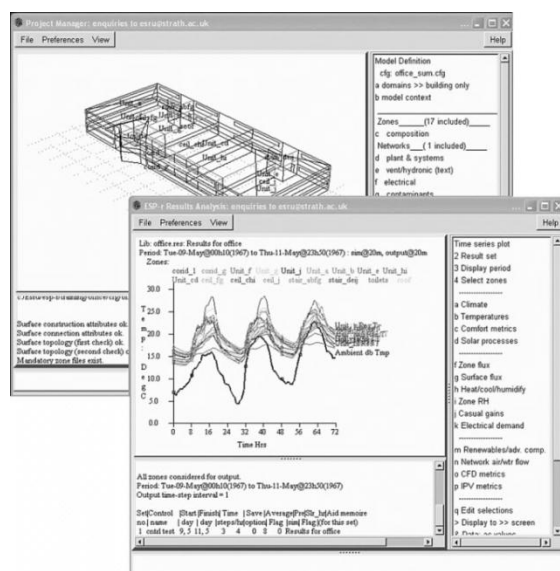
#### **2.6.10. ESP-r**

O *ESP-r*, *Environmental System Performance Research*, é um programa de simulação desenvolvido pela *Energy System Research Unit* da Universidade de *Strathclyde*, cuja aplicação é

a simulação de um modelo, o mais próximo possível das condições reais, através da simulação dinâmica. Este programa analisa o seu desempenho em termos de consumos energéticos, conforto térmico dos ocupantes, qualidade de ar e controle dos sistemas, dispondo de modelos matemáticos que permitem simular a transferência de calor e humidade, caudais de ar, iluminação, sistemas de controlo e uma série de tecnologias energéticas convencionais e renováveis.

O programa utiliza o método das diferenças finitas na modelação térmica, no qual requer, para conseguir convergir, de intervalos de tempo de integração muito pequenos. Por isso, são necessários computadores com grande capacidade de cálculo e de armazenamento de dados. Utilizando este método de cálculo é possível a simulação de componentes não lineares, como por exemplo as paredes com grande inércia térmica – paredes de Trombe.

O *ESP-r* dispõe de uma base de dados que possibilita a gestão de todos os modelos de componentes de sistemas e possui informação sobre os materiais que integram a envolvente do edifício, controlo, sombreamento, e outras. Esta ferramenta, numa primeira fase, permite a quantificação do impacto da localização, geometria e construção do edifício, e numa segunda fase, a análise detalhada de parâmetros como o controlo e a QAI. Na seguinte figura podemos observar estes dois processos.



**Figura 2.29** – Módulos de modelação do edifício e análise de resultados utilizados no *ESP-r* (reproduzido de Energy Systems Research Unit, 2012)

O programa é vocacionado para o ensino e investigação, não tendo qualquer encargo na sua utilização. Contudo, uma das desvantagens do programa é que a sua concepção foi pensada para o sistema operativo *UNIX*, sendo suportado pelo ambiente *SOLARIS* ou *LINUX*, o que coloca alguns entraves na sua utilização.

### 2.6.11. Comparação entre programas

Depois de apresentadas as várias capacidades de alguns dos programas de simulação existentes, é importante ter percepção da sua disponibilidade, sendo um dos factores a ter em atenção na selecção do programa multizona. Na tabela seguinte observamos o custo desses programas.

**Tabela 2.1** – Custo da licença dos programas de simulação dinâmica detalhada.

Programa	Custo da Licença	Obs.
<b>RCCTE-STE</b>	195 € (+ IVA) + custo de um exemplar ITE 50	(LNEG, 2012)
<b>Cypeterm</b>	Gratuita para Universidades	(Cypeterm, 2012)
<b>EnergyPlus</b>	Gratuita	(EnergyPlus, 2012)
<b>DesignBuilder</b>	Gratuita para Estudantes	(Natural Works, 2012)
<b>TRACE 700</b>	1540,67 (Comercial)	(Trane, 2012)
<b>TRNSYS</b>	1830,80 € (10 licenças para Universidades)	(TRNSYS, 2012)
<b>Carrier HAP</b>	1155,75 €	(HAP Carrier, 2012)
<b>VisualDOE4.1</b>	502,77 € (licença para Universidade)	(Architectural Energy Corporation, 2012)
<b>DOE2.1e</b>	Gratuita	(DOE2, 2012)
<b>ESP-r</b>	Gratuita	(ESP-r, 2012)

Outros factores de ponderação a ter em conta são a utilização destes programas em Portugal nos gabinetes de Engenharia; a capacidade de atribuir equipamentos reais aos que foram simulados no programa; os recursos que compõe os programas; e o acompanhamento técnico da parte do seu representante de forma a esclarecer as dúvidas que se criem ao longo da utilização do programa.

Assim, a utilização de programas como *EnergyPlus*, *TRACE 700* e *DesignBuilder* são bastante aceites pela comunidade de técnicos de climatização devido à garantia de fiabilidade dos resultados. No entanto nos últimos anos tem existido uma evolução nas capacidades do *Cype*, deixando de ser só um programa utilizado para estruturas e introduzindo alguns aspectos relativos a energias como é o caso do desempenho energético em edifícios e o projecto de climatização. O *Cypeterm* utiliza como motor de cálculo o *EnergyPlus* de modo a realizar a simulação térmica e energética do edifício. Este factor pesou na decisão de ser este o programa escolhido de forma a comparar os resultados com o *RCCTE-STE*.

Os programas de simulação diferem em vários aspectos uns dos outros, como por exemplo o cálculo de algumas geometrias, a base de dados que integram os sistemas e equipamentos, a programação e métodos de cálculo, leva a que sejam realizadas aproximações o que afecta os resultados finais.

O *RCCTE-STE* apresenta uma maior facilidade de introdução de dados e beneficia de uma ligação directa à aplicação do RCCTE mas em contrapartida possui algumas limitações associadas à própria simplificação que condiciona o utilizador na aplicação a certos aspectos. Nestas situações o utilizador poderá recorrer a programas de simulação detalhada de forma a ultrapassar estas limitações, já anteriormente apresentadas.



### **3. CASO DE ESTUDO**





### 3.1. Caracterização do Edifício

A fracção autónoma em estudo corresponde ao Museu da Geira (Figura 3.1), situado na freguesia de Campo do Gerês, concelho de Terras de Bouro, tratando-se de um edifício de serviços com um só piso. O edifício localiza-se numa zona rural, a 640 metros de altitude e a 90 quilómetros da costa marítima.

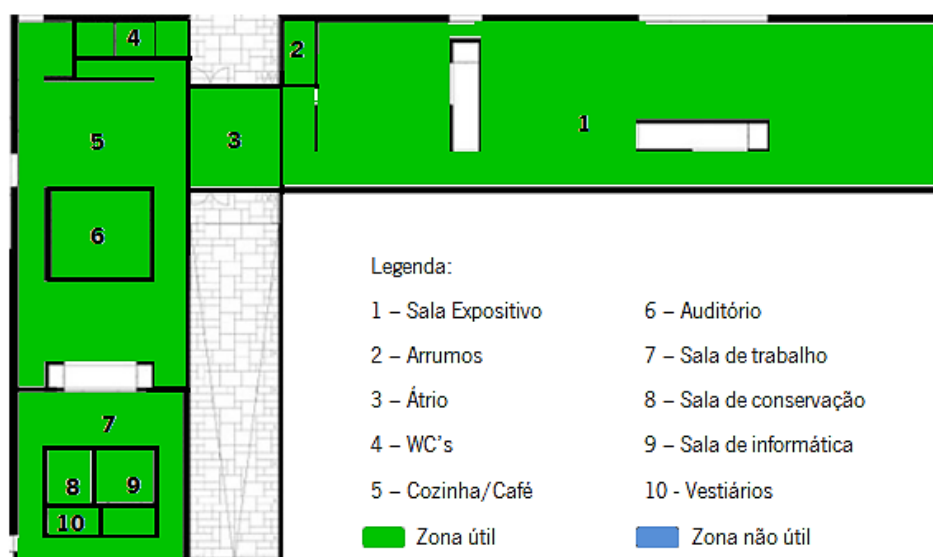


**Figura 3.1** – Museu da Geira (reproduzido de Carvalho Araújo, 2012)

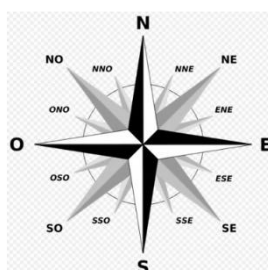
O Requerente da obra é a Câmara Municipal de Terras de Bouro, e o sistema de climatização descrito neste trabalho, foi definido pelo projectista da especialidade na altura da execução do projecto. O sistema de climatização sofreu algumas alterações de modo a implementar a entrada de ar novo. A restante caracterização do edifício é realizada em função da sua necessidade no âmbito do RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006), e de maneira a demonstrar um estudo comparativo com a maior rigor possível, houve um tratamento de dados de modo a que os valores do projecto executado e os valores inseridos nos diferentes programas de simulação fossem os mais similares possível.

O edifício está dividido em duas zonas que podem funcionar independentemente. A zona a Oeste da via tem o programa da Cozinha/Bar e Auditórios. Na zona a Este da via estão situadas as áreas de exposição do museu, com diversas salas de exposição e o espaço de atendimento. Estas salas são separadas por pátios que, para além de organizarem o espaço, permitem uma entrada de luz nas zonas mais interiores do museu. O átrio de entrada fica na intersecção da via com o edifício. Todas as zonas do edifício foram consideradas zonas úteis. Na Figura 3.2

podemos observar os compartimentos e a delimitação das zonas úteis e não úteis do edifício e na Figura 3.3 a orientação do edifício.



**Figura 3.2** – Compartimentos e delimitação da zona útil e não útil do Museu.



**Figura 3.3** – Orientação do edifício de acordo com a planta.

O edifício tem uma área útil de pavimento de 1081,92 m<sup>2</sup> e um pé direito médio de 2,72 m (medido até ao tecto falso, devido a este ser estanque).

### 3.2. Zona Climática

Em função das tabelas do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006) a zona climática classifica-se:

**Tabela 3.1** – Zona Climática, Quadro III.4, Quadro III.5, Quadro III.6, Quadro III.7 do RCCTE.

Localização nas Regiões Autónomas dos Açores ou Madeira	
Madeira	Açores
Não	Não
Correcções em função da altitude: Quadro III.4, Quadro III.5, Quadro III.6, Quadro III.7 do RCCTE	

**Tabela 3.2** – Zona Climática, Quadro III.1 do RCCTE.

<b>Concelho</b>	<b>Zona Climática de Inverno</b>	<b>Número de Graus dia (GD) (°C)</b>	<b>Duração da Estação de Aquecimento (meses) - M</b>	<b>Zona Climática de Verão</b>	<b>Temperatura externa de projecto (°C)</b>	<b>Amplitude térmica (°C)</b>
Terras de Bouro	I <sub>3</sub>	2420	7	V2 Norte	32	13

Zonas climáticas, Graus dia de aquecimento (GD) e Duração Est. Aquecimento (M): Quadro III.1 do RCCTE

**Tabela 3.3** – Zona Climática, Quadro III.2 do RCCTE.

<b>Correcções de altitude no Inverno</b>		
400 < z ≤ 600	600 < z ≤ 1000	z > 1000
Não	Sim	Não
Correcções em função da altitude: Quadro III.2 do RCCTE		

Como o Museu situa-se entre 600 e 1000 metros de altitude a zona climática de Inverno, o número de graus dia e a duração da estação de aquecimento mantém-se inalterado, de acordo com o Quadro III.2 do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006).

**Tabela 3.4** – Zona Climática, Quadro III.3 do RCCTE.

<b>Correcções de altitude no Verão</b>			
600 < z ≤ 800	800 < z ≤ 1000	1000 < z ≤ 1200	z > 1200
Sim	Não	Não	Não
Correcções em função da altitude: Quadro III.3 do RCCTE			

O Museu encontra-se entre 600 e 800 metros de altitude sendo que, segundo o Quadro III.3 do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006), a zona climática de Verão e a temperatura exterior de projecto mantém-se inalterado.

**Tabela 3.5** – Zona Climática, faixas costeiras.

<b>Localização nas faixas costeiras, concelhos de:</b>				
Pombal	Santiago do Cacém	Alcácer do Sal	Leiria	Alcobaça
Não	Não	Não	Não	Não

**Tabela 3.6** – Zona Climática, Anexo III, Quadro III.8, Quadro III.9, Artigo 15, ponto 2 do RCCTE.

Concelho	Energia solar média mensal incidente a sul - $G_{sol}$ (kWh/m².mês)	Valor médio temperatura ar exterior est. arrefecimento - $\theta_{atm}$	Intensidade da radiação solar										Nv max. (kWh/m².ano)
			N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Horiz.		
Terras de Bouro	90	19	200	320	450	470	420	470	450	320	790	18	

### 3.3. Enquadramento regulamentar

A envolvente do edifício deverá respeitar a legislação em vigor, designadamente o RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006).

O edifício apresenta uma área superior a 1000 m<sup>2</sup>, possuindo um sistema de climatização centralizado (aquecimento e arrefecimento) de potência superior a 25 kW. Devido a este facto o edifício deverá cumprir o RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006), que impõe:

- O valor máximo da globalidade dos seus consumos energéticos para climatização, iluminação e em equipamentos típicos designadamente para aquecimento de água sanitária e elevadores;
- O limite superior da potência que é permitido instalar nesses edifícios ou fracções autónomas para os respectivos sistemas de climatização (ventilação mecânica, aquecimento e arrefecimento);
- Requisitos mínimos de QAI e da respectiva monitorização.

Os requisitos de verificação regulamentar são aplicáveis, a edifícios novos e existentes a quando da emissão das licenças para construção e utilização e emissão de certificados após Auditoria Energética vertente Energia e QAI. Distinguem-se:

- Características da envolvente;
- Limite de potência a instalar;
- Eficiência de sistemas energéticos;
- Limites de consumo de energia;
- Conforto térmico ( $v_{ar} < 0,2 \text{ m/s}$ );
- Caudais mínimos de ar novo;
- Valores máximos das concentrações dos poluentes do ar interior;
- Plano de manutenção obrigatório;
- Inspeções periódicas a equipamento de AVAC;
- Auditorias periódicas aos consumos energéticos e à QAI.

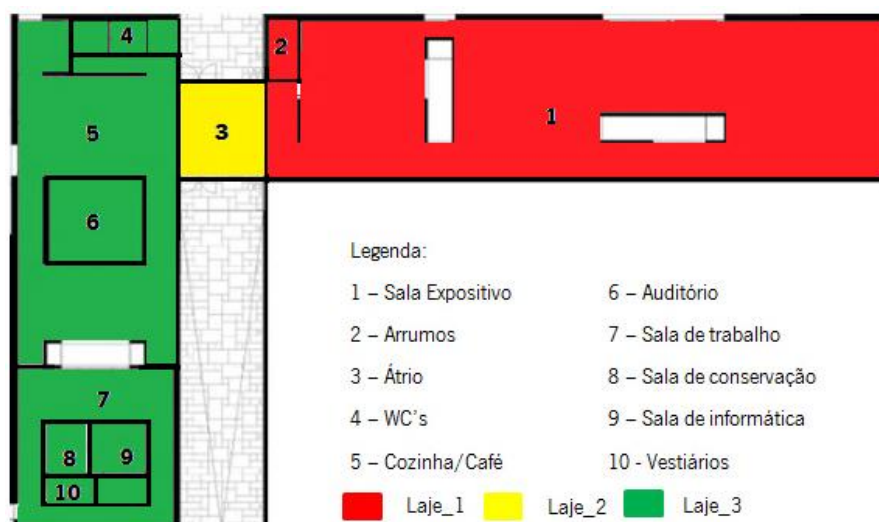
De acordo com o n.º 1 do artigo 8º do RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006), o consumo nominal específico de energia de um novo grande edifício de serviços sujeito ao presente Regulamento, nos termos do n.º 1 do artigo 2º, é determinado através de uma simulação dinâmica multizona do edifício, utilizando metodologias de simulação que obedeçam aos requisitos estabelecidos no n.º 2 do artigo 13.

### **3.4. Caracterização dos elementos da envolvente**

A caracterização térmica da envolvente do edifício foi realizada com base na publicação Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios (2006) e Decreto-Lei n.º 80/2006. No **Anexo A** podemos observar a delimitação da envolvente.

#### **3.4.1. Pavimentos em contacto com o terreno**

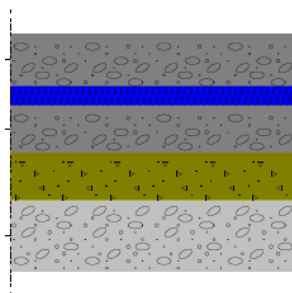
O presente edifício possui três variações de pavimentos em contacto com o terreno, como se observa na Figura 3.4, sendo eles descritos de seguida.



**Figura 3.4** – Pavimentos do edifício.

#### 3.4.1.1. Laje\_1

Laje pertencente ao espaço expositivo e aos arrumos sendo composto, de baixo para cima por, seixo com uma espessura de 15 cm, brita com 10 cm de espessura, batão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 10 cm, isolamento térmico a poliestireno extrudido (XPS) com uma densidade de 40 kg/m<sup>3</sup> e uma espessura de 4 cm, e betão normal com uma espessura de 11 cm. A Laje\_1 (Figura 3.5) contabiliza uma superfície total de 564,88 m<sup>2</sup> e uma espessura total de 50,0 cm.



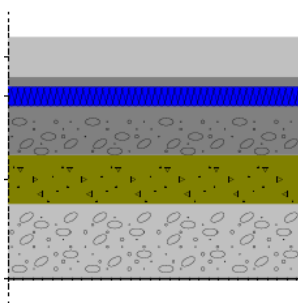
**Figura 3.5** – Pormenor do pavimento – Laje\_1.

**Tabela 3.7** – Características do pavimento em contacto com o solo – Laje\_1.

Laje_1	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volumica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	$R_{si}$			0,17			
	Betão normal	0,11	1,65	0,07		2300	253,0
	XPS	0,04	0,037	1,08		40	1,6
	Betão armado % armadura <1%	0,1	2	0,05	0,67	2400	240,0
	Brita	0,1	2	0,05		2200	220,0
	Seixo	0,15	2	0,08		2000	300,0
	Resistência térmica total			1,49		r =	1,00
	$M_i$ kg/m²						1014,6
	$M_s$ kg/m²						150,0
	$M_{s_i}$ kg/m²					EL2	150,0

### 3.4.1.2. Laje\_2

Laje pertencente ao átrio sendo composto, de baixo para cima por, membrana flexível de betume com 0.5 cm de espessura, seixo com uma espessura de 15 cm, brita com 10 cm de espessura, batão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 10 cm, isolamento térmico a XPS com uma densidade de 40 kg/m³ e uma espessura de 4 cm, betão normal com uma espessura de 2 cm, e granito com uma espessura de 8 cm. A Laje\_2 (Figura 3.6) contabiliza uma superfície total de 51,1 m² e uma espessura total de 49,5 cm.

**Figura 3.6** – Pormenor do pavimento – Laje\_2.

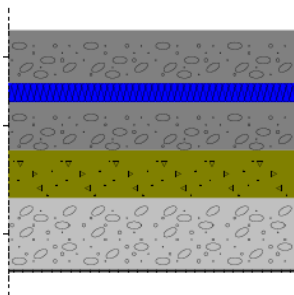
**Tabela 3.8** – Características do pavimento em contacto com o solo – Laje\_2.

Laje_2	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volúmica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	R <sub>si</sub>			0,17			
	Granito	0,08	2,8	0,03	0,67	2600	208,0
	Betão normal	0,02	1,65	0,01		2300	46,0
	XPS	0,04	0,037	1,08		40	1,6
	Betão armado % armadura <1%	0,1	2	0,05		2400	240,0
	Brita	0,1	2	0,05		2200	220,0
	Seixo	0,15	2	0,08		2000	300,0
	Mem. Flex. Betume	0,005	0,23	0,02		1100	5,5
	Resistência térmica total			1,49		r =	1,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						1021,1
	M <sub>i</sub> kg/m²						150,0
	M <sub>s</sub> kg/m²					EL2	150,0

### 3.4.1.3. Laje\_3

Laje pertencente às casas de banho, cozinha/bar, auditório, sala de trabalho, sala de conservação, sala de informática e aos vestiários, sendo composto, de baixo para cima por, membrana flexível de betume com 0,5 cm de espessura, seixo com uma espessura de 15 cm, brita com 10 cm de espessura, batão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 10 cm, isolamento térmico a XPS com uma densidade de 40 kg/m³ e uma espessura de 4 cm, e betão normal com uma espessura de 11 cm. A Laje\_3 (Figura 3.7) contabiliza uma superfície total de 465,96 m² e uma espessura total de 50,5 cm.





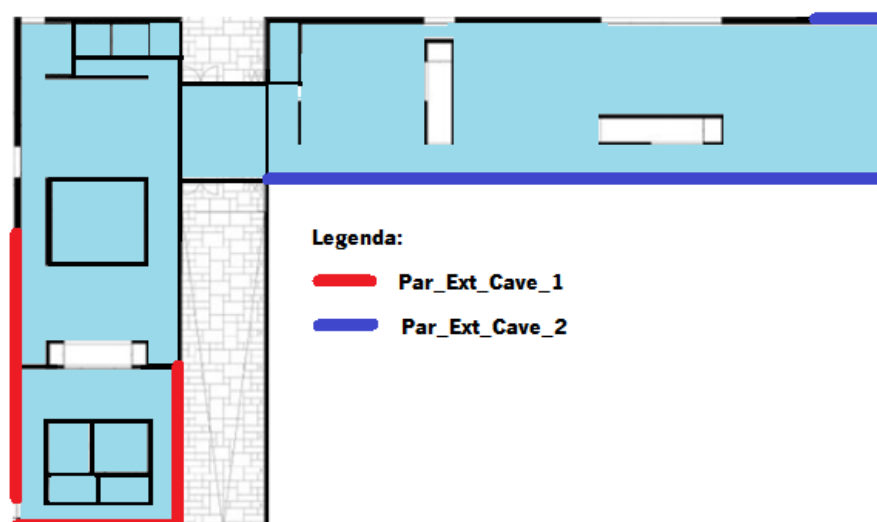
**Figura 3.7** – Pormenor do pavimento – Laje\_3.

**Tabela 3.9** – Características do pavimento em contacto com o solo – Laje\_3.

Laje_3	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volúmica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	$R_{si}$			0,17			
	Betão normal	0,11	1,65	0,07		2300	253,0
	XPS	0,04	0,037	1,08		40	1,6
	Betão armado % armadura <1%	0,1	2	0,05	0,66	2400	240,0
	Brita	0,1	2	0,05		2200	220,0
	Seixo	0,15	2	0,08		2000	300,0
	Mem. Flex. Betume	0,005	0,23	0,02		1100	5,5
	Resistência térmica total			1,51		r =	1,0
	$M_i$ kg/m²						1020,1
	$M_i$ kg/m²						150,0
	$M_s$ Kg/m²					EL2	150,0

### 3.4.2. Muros em contacto com o terreno

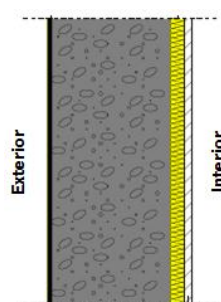
O presente edifício possui duas variações de muros em contacto com o terreno, como se observa na Figura 3.8, sendo eles descritos de seguida.



**Figura 3.8** – Muros em contacto com o terreno.

### 3.4.2.1. Par\_Ext\_Cave\_1

Parede em contacto com o terreno composta do exterior para o interior por, revestimento têxtil (carpete, alcatifa) com 0,5 cm de espessura, betume puro com uma espessura de 0,5 cm, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 25 cm, lâ de rocha de alta densidade com uma densidade de  $40 \text{ kg/m}^3$  e 3 cm de espessura, e placa de gesso com 1,5 cm de espessura. A Par\_Ext\_Cave\_1 (Figura 3.9 – Pormenor de muros em contacto com o terreno – Par\_Ext\_Cave\_1.) abrange uma superfície total de  $145,56 \text{ m}^2$  e uma espessura total de 30,5 cm.



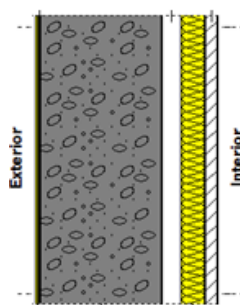
**Figura 3.9** – Pormenor de muros em contacto com o terreno – Par\_Ext\_Cave\_1.

**Tabela 3.10** – Características das paredes em contacto com o terreno – Par\_Ext\_Cave\_1.

Par_Ext_Cave_1	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volumica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	$R_{se}$						
	Revestimento têxtil	0,005	0,06	0,08		200	1,0
	Betume puro	0,005	0,17	0,03		1050	5,3
	Betão armado % armadura <1%	0,25	2	0,13	0,8	2400	600,0
	Lã de rocha de alta densidade	0,03	0,041	0,73		40	1,2
	Placa de gesso	0,015	0,25	0,06		825	12,4
	$R_{si}$			0,13			
	Resistência térmica total			1,16		r =	1,0
	$M_i$ kg/m²						619,8
	$M_i$ kg/m²						150,0
	$M_s$ kg/m²					EL2	15,0

**3.4.2.2. Par\_Ext\_Cave\_2**

Parede em contacto com o terreno composta do exterior para o interior por, revestimento têxtil com 0,5 cm de espessura, betume puro com uma espessura de 0,5 cm, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 25 cm, caixa-de-ar com 4 cm de espessura, lã de rocha de alta densidade com uma densidade de 40 kg/m³ e 5 cm de espessura, e placa de gesso com 2,5 cm de espessura. A Par\_Ext\_Cave\_2 (Figura 3.10) abrange uma superfície total de 221,68 m² e uma espessura total de 37,5 cm.



**Figura 3.10** – Pormenor de muros em contacto com o terreno – Par\_Ext\_Cave\_2.

**Tabela 3.11** – Características das paredes em contacto com o terreno – Par\_Ext\_Cave\_2.

Par_Ext_Cave_2	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volúmica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	$R_{se}$						
	Revestimento têxtil	0,005	0,06	0,08		200	1,0
	Betume puro	0,005	0,17	0,03		1050	5,3
	Betão armado % armadura <1%	0,25	2	0,13	0,56	2400	600,0
	Caixa-de-ar	0,04		0,11			
	Lã de rocha de alta densidade	0,05	0,041	1,25		40	2,0
	Placa de gesso	0,025	0,25	0,10		825	20,6
	$R_{si}$			0,13			
	Resistência térmica total			1,80		r =	1,0
	$M_i$ kg/m²						628,9
	$M_l$ kg/m²						150,0
	$M_s$ Kg/m²					EL2	25,0

### 3.4.3. Elementos opacos das fachadas

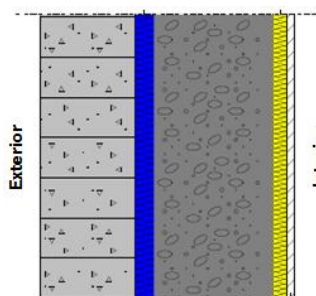
O presente edifício possui seis variações de elementos opacos das fachadas, como se observa na Figura 3.11, sendo eles descritos de seguida.



**Figura 3.11** – Paredes exteriores do edifício.

#### 3.4.3.1. Par\_Ext\_1

Parede exterior composta do exterior para o interior por, granito com 20 cm de espessura, XPS com uma densidade de 40 kg/m<sup>3</sup> e uma espessura de 4 cm, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 25 cm, lã de rocha de alta densidade com uma densidade de 40 kg/m<sup>3</sup> e 3 cm de espessura, e placa de gesso com 1,5 cm de espessura. A Par\_Ext\_1 (Figura 3.12) abrange uma superfície total de 226,24 m<sup>2</sup> e uma espessura total de 53,5 cm.



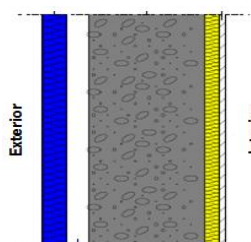
**Figura 3.12** – Pormenor das paredes exteriores – Par\_Ext\_1.

**Tabela 3.12** – Características das paredes exteriores – Par\_Ext\_1.

<b>Par_Ext_1</b>	<b>Constituição</b>	<b>e (m)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/m.°C)</b>	<b>R (m².°C/W)</b>	<b>U (W/m².°C)</b>	<b>Massa Volumica (kg/m³)</b>	<b>Massa Superficial (kg/m²)</b>
	R <sub>se</sub>			0,04			
	Granito	0,2	2,8	0,07		2600	520,0
	XPS	0,04	0,037	1,08		40	1,6
	Betão armado % armadura <1%	0,25	2	0,13	0,45	2400	600,0
	Lã de rocha de alta densidade	0,03	0,041	0,73		40	1,2
	Placa de gesso	0,015	0,25	0,06		825	12,4
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Resistência térmica total			2,24		r =	1,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						1135,2
	M <sub>i</sub> kg/m²						150,0
	M <sub>s</sub> kg/m²					EL1	150,0

**3.4.3.2. Par\_Ext\_2**

Parede exterior composta do exterior para o interior por, alumínio com 0,3 cm de espessura, XPS com uma densidade de 40 kg/m³ e uma espessura de 5 cm, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 25 cm, lâ de rocha de alta densidade com uma densidade de 40 kg/m³ e 3 cm de espessura, e placa de gesso com 1,5 cm de espessura. A Par\_Ext\_2 (Figura 3.13) abrange uma superfície total de 34,31 m² e uma espessura total de 39,8 cm.

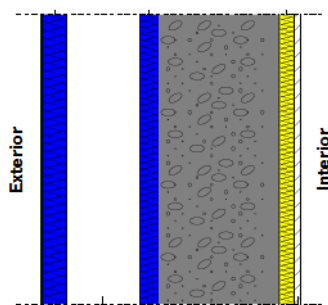
**Figura 3.13** – Pormenor das paredes exteriores – Par\_Ext\_2.

**Tabela 3.13** – Características das paredes exteriores – Par\_Ext\_2.

<b>Par_Ext_2</b>	<b>Constituição</b>	<b>e (m)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/m.°C)</b>	<b>R (m².°C/W)</b>	<b>U (W/m².°C)</b>	<b>Massa Volumica (kg/m³)</b>	<b>Massa Superficial (kg/m²)</b>
	R <sub>se</sub>			0,04			
	Alumínio	0,003	230	0,00001		2700	8,1
	XPS	0,05	0,037	1,35		40	2,0
	Caixa-de-ar	0,05		0,11			
	Betão armado % armadura <1%	0,25	2	0,13	0,39	2400	600,0
	Lã de rocha de alta densidade	0,03	0,04	0,75		40	1,2
	Placa de gesso	0,015	0,25	0,06		825	12,4
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Resistência térmica total			2,57		r =	1,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						623,7
	M <sub>i</sub> kg/m²						150,0
	Ms, kg/m²					EL1	150,0

**3.4.3.3. Par\_Ext\_3**

Parede exterior composta do exterior para o interior por, alumínio com 0,3 cm de espessura, XPS com uma densidade de 40 kg/m³ e uma espessura de 5 cm, caixa-de-ar com 5 cm de espessura, XPS com densidade de 40 kg/m³ e uma espessura de 4 cm, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 25 cm, lâ de rocha de alta densidade com uma densidade de 40 kg/m³ e 3 cm de espessura, e placa de gesso com 1,5 cm de espessura. A Par\_Ext\_3 (Figura 3.14) abrange uma superfície total de 11,18 m² e uma espessura total de 53,8 cm.



**Figura 3.14** – Pormenor das paredes exteriores – Par\_Ext\_3.

**Tabela 3.14** – Características das paredes exteriores – Par\_Ext\_3.

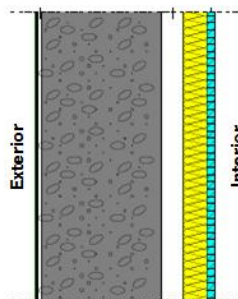
	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volumica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
Par_Ext_3	$R_{se}$			0,04			
	Alumínio	0,003	230	0,00001		2700	8,1
	XPS	0,05	0,037	1,35		40	2,0
	Caixa-de-ar	0,05		0,11			
	XPS	0,04	0,037	1,08		40	1,6
	Betão armado				0,28		
	% armadura <1%	0,25	2	0,13		2400	600,0
	Lã de rocha de alta densidade	0,03	0,041	0,73		40	1,2
	Placa de gesso	0,015	0,25	0,06		825	12,4
	$R_{si}$			0,13			
	Resistência térmica total			3,63		r =	1,0
	$M_i$ kg/m²						625,3
	$M_i$ kg/m²						150,0
	$M_s$ kg/m²					EL1	150,0

#### 3.4.3.4. Par\_Ext\_4

Parede exterior composta do exterior para o interior por, alumínio com 0,5 cm de espessura, caixa-de-ar com uma espessura de 1 cm, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 25 cm, caixa-de-ar com 4,5 cm de espessura, lã de rocha com



densidade de  $50 \text{ kg/m}^3$  e uma espessura de 5 cm, e placa de gesso cartonado com 1,5 cm de espessura. A Par\_Ext\_4 (Figura 3.15) abrange uma superfície total de  $66,57 \text{ m}^2$  e uma espessura total de 37,5 cm.



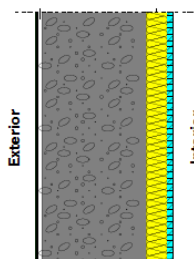
**Figura 3.15** – Pormenor das paredes exteriores – Par\_Ext\_4.

**Tabela 3.15** – Características das paredes exteriores – Par\_Ext\_4.

Par_Ext_4	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volumica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	$R_{se}$			0,04			
	Alumínio	0,005	230	0,00002		2700	13,5
	Ar	0,01	0,025	0,40		1,23	0,01
	Betão armado % armadura <1%	0,25	2	0,13	0,47	2400	600,0
	Caixa-de-ar	0,045		0,11			
	Lã de rocha (MW)	0,05	0,04	1,25		50	2,5
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	$R_{si}$			0,13			
	Resistência térmica total			2,12		r =	1,0
	$M_i \text{ kg/m}^2$						631,01
	$M_i \text{ kg/m}^2$						150,0
	$M_s \text{ kg/m}^2$					EL1	15,0

### 3.4.3.5. Par\_Ext\_5

Parede exterior composta do exterior para o interior por, alumínio com 0,5 cm de espessura, caixa-de-ar com uma espessura de 1 cm, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 25 cm, lã de rocha com densidade de 50 kg/m<sup>3</sup> e uma espessura de 5 cm, e placa de gesso cartonado com 1,5 cm de espessura. A Par\_Ext\_5 (Figura 3.16) abrange uma superfície total de 88,44 m<sup>2</sup> e uma espessura total de 33,0 cm.



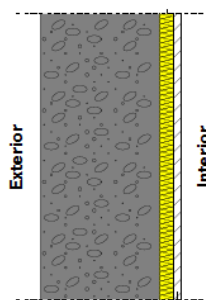
**Figura 3.16** – Pormenor das paredes exteriores – Par\_Ext\_5.

**Tabela 3.16** – Características das paredes exteriores – Par\_Ext\_5.

Par_Ext_5	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Massa Volumica (kg/m <sup>3</sup> )	Massa Superficial (kg/m <sup>2</sup> )
	R <sub>se</sub>			0,04			
	Alumínio	0,005	230	0,00002		2700	13,5
	Ar	0,01	0,025	0,40		1,23	0,01
	Betão armado % armadura <1%	0,25	2	0,13	0,50	2400	600,0
	Lã de rocha (MW)	0,05	0,04	1,25		50	2,5
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Resistência térmica total			2,01		r =	1,0
	M <sub>i</sub> kg/m <sup>2</sup>						606,01
	M <sub>i</sub> kg/m <sup>2</sup>						150,0
	M <sub>s</sub> kg/m <sup>2</sup>					EL1	15,0

### 3.4.3.6. Par\_Ext\_6

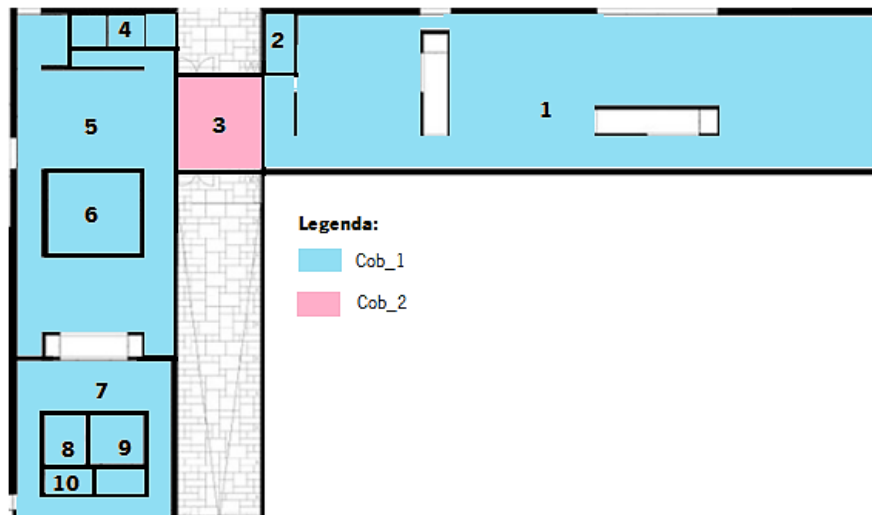
Parede exterior composta do exterior para o interior por, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 25 cm, lâ de rocha de alta densidade com densidade de 40 kg/m<sup>3</sup> e uma espessura de 3 cm, e placa de gesso com 1,5 cm de espessura. A Par\_Ext\_6 (Figura 3.16) abrange uma superfície total de 2,95 m<sup>2</sup> e uma espessura total de 29,51 cm.



**Figura 3.17** – Pormenor das paredes exteriores – Par\_Ext\_6.

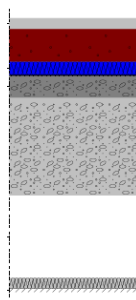
**Tabela 3.17** – Características das paredes exteriores – Par\_Ext\_6.

Par_Ext_6	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volumica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	R <sub>se</sub>			0,04			
	Betão armado % armadura <1%	0,25	2	0,13		2400	600,2
	Lã de rocha de alta densidade	0,03	0,041	0,73	0,92	40	1,2
	Placa de gesso	0,015	0,25	0,06		825	12,4
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Resistência térmica total			1,09		r =	1,0
	M <sub>t</sub> kg/m²						613,8
	M <sub>i</sub> kg/m²						150,0
	M <sub>s</sub> kg/m²					EL1	12,4



**Figura 3.18 – Coberturas do edifício.**

Cobertura que abrange quase todo o edifício (só não abrange o átrio) e é composto do interior para o exterior por, gesso cartonado com uma espessura de 1,5 cm, isolamento térmico a lã de rocha com uma densidade de 100 kg/m<sup>3</sup> e uma espessura de 5 cm, caixa-de-ar com altura de 32 cm, laje fungiforme com 45 cm de espessura, betão cavernoso com 10 cm de espessura, membrana flexível impregnada com betuma com 0,5 cm de espessura, isolamento térmico a XPS com densidade de 40 kg/m<sup>3</sup> e 6 cm de altura, camada com terra de 15 cm de espessura, e granito com 5 cm de espessura. A Cob\_1 (Figura 3.19) abrange uma superfície total de 1030,84 m<sup>2</sup> e uma espessura total de 126 cm.



**Figura 3.19 – Pormenor da cobertura – Cob\_1.**

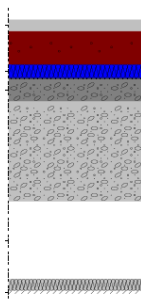
**Tabela 3.18** – Características das coberturas – Cob\_1.

	Constituição	$e$	$\lambda$	$R$	$U$	Massa Volúmica	Massa Superficial
		(m)	(W/m.°C)	(m².°C/W)	(W/m².°C)	(kg/m³)	(kg/m²)
Cob_1	$R_{se}$			0,04			
	Granito	0,05	2,8	0,02		2600	130,0
	Terra	0,15	1,5	0,10		1700	255,0
	XPS	0,06	0,037	1,62		40	2,4
	Mem. Flex. Betume	0,005	0,23	0,02		1100	5,5
	Betão cavernoso	0,1	1,35	0,07	0,27	2000	200,0
	Laje fungiforme	0,45	2	0,23		1184,44	533,0
	Caixa-de-ar	0,32		0,16			
	Lã de rocha	0,05	0,04	1,25		100	5,0
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	$R_{si}$			0,10			
	Resistência térmica total			3,67		$r =$	0,0
	$M_i$ kg/m²						1145,9
	$M_l$ kg/m²						150,0
	$M_s$ kg/m²					EL1	150,0

**3.4.4.2. Cob\_2**

Cobertura que abrange o átrio e é composto do interior para o exterior por, gesso cartonado com uma espessura de 1,5 cm, isolamento térmico a lâ de rocha com uma densidade de 100 kg/m³ e uma espessura de 5 cm, caixa-de-ar com altura de 29 cm, laje fungiforme com 45 cm de espessura, betão cavernoso com 10 cm de espessura, membrana flexível impregnada com betuma com 0,5 cm de espessura, isolamento térmico a XPS com densidade de 40 kg/m³ e 6 cm de altura, camada com terra de 15 cm de espessura, e granito com 5 cm de espessura. A

Cob\_2 (Figura 3.20) abrange uma superfície total de 51,10 m<sup>2</sup> e uma espessura total de 123 cm.



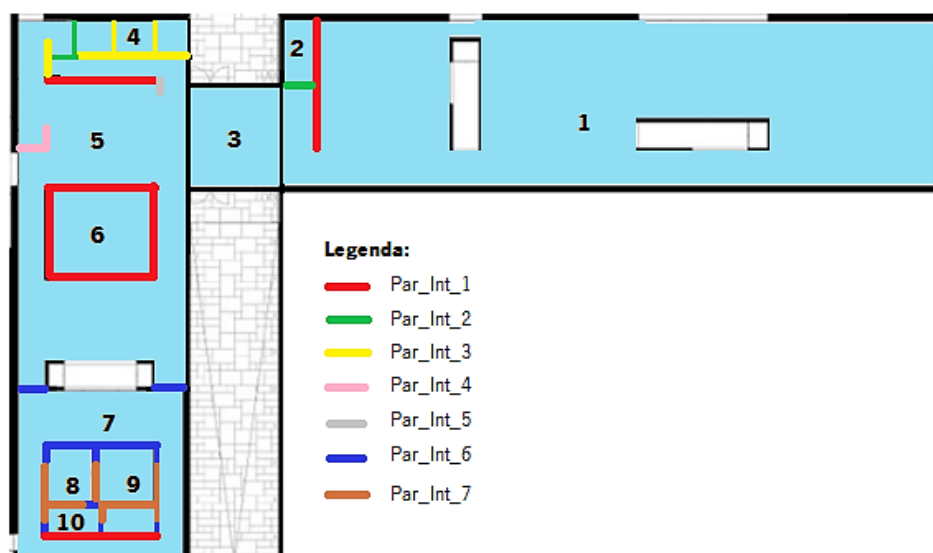
**Figura 3.20** – Pormenor da cobertura – Cob\_2.

**Tabela 3.19** – Características das coberturas – Cob\_2.

	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m <sup>2</sup> .°C/W)	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	Massa Volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Massa Superficial (kg/m <sup>2</sup> )
Cob_2	R <sub>se</sub>			0,04			
	Granito	0,05	2,8	0,02		2600	130,0
	Terra	0,15	1,5	0,10		1700	255,0
	XPS	0,06	0,037	1,62		40	2,4
	Mem. Flex. Betume	0,005	0,23	0,02		1100	5,5
	Betão cavernoso	0,1	1,35	0,07	0,27	2000	200,0
	Laje fungiforme	0,45	2	0,23		1184,44	533,0
	Caixa-de-ar	0,29		0,16			
	Lã de rocha	0,05	0,04	1,25		100	5,0
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	R <sub>si</sub>			0,10			
	Resistência térmica total			3,67		r =	0,0
	M <sub>i</sub> kg/m <sup>2</sup>						1145,9
	M <sub>i</sub> kg/m <sup>2</sup>						150,0
	M <sub>s</sub> kg/m <sup>2</sup>					EL1	150,0

### 3.4.5. Compartimentação Interior

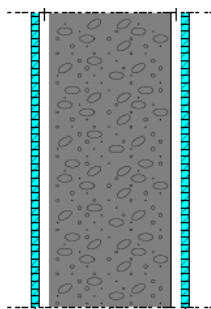
O presente edifício possui sete variações de coberturas, como se observa na Figura 3.21, sendo eles descritos de seguida.



**Figura 3.21** – Paredes interiores do edifício.

#### 3.4.5.1. Par\_Int\_1

Parede interior de separação do edifício entre os espaços da sala de exposições e os arrumos, do auditório e cozinha/bar, e da sala de trabalho e vestiários, sendo composta por placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm, caixa-de-ar com 2 cm de espessura, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 25 cm, caixa-de-ar com 2 cm de espessura, e placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm. A Par\_Int\_1 (Figura 3.22) abrange uma superfície total de 105,69 m<sup>2</sup> e uma espessura total de 32 cm.



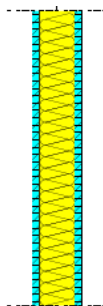
**Figura 3.22** – Pormenor da parede interior – Par\_Int\_1.

**Tabela 3.20** – Características da compartimentação interior – Par\_Int\_1.

Par_Int_1	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volumica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	Ar	0,02	0,025	0,80		1,23	0,025
	Betão armado % armadura <1%	0,25	2	0,13	0,48	2400	600,0
	Ar	0,02	0,025	0,80		1,23	0,025
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Resistência térmica total			2,11		r =	1,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						630,05
	M <sub>i</sub> kg/m²						300,0
	Ms, kg/m²					EL3	300,0

### 3.4.5.2. Par\_Int\_2

Parede interior de separação do edifício entre os espaços da sala de exposições e os arrumos, e o WC e a cozinha/bar, sendo composta por placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm, isolamento térmico a lã de rocha com 7 cm de espessura e densidade de 50 kg/m³, e placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm. A Par\_Int\_2 (Figura 3.23) abrange uma superfície total de 39,53 m² e uma espessura total de 10 cm.

**Figura 3.23** – Pormenor da parede interior – Par\_Int\_2.

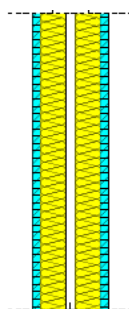


**Tabela 3.21** – Características da compartimentação interior – Par\_Int\_2.

Par_Int_2	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volúmica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	Lã de rocha (MW)	0,07	0,04	1,75	0,47	50	3,5
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Resistência térmica total			2,13		r =	1,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						33,5
	M <sub>i</sub> kg/m²						300,0
	M <sub>s</sub> kg/m²					EL3	30,0

### 3.4.5.3. Par\_Int\_3

Parede interior de separação do edifício entre os espaços WC's e cozinha/bar, sendo composta por placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm, isolamento térmico a lã de rocha com 5 cm de espessura e densidade de 50 kg/m³, caixa-de-ar com 2 cm de espessura, isolamento térmico a lã de rocha com 5 cm de espessura e densidade de 50 kg/m³, e placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm. A Par\_Int\_3 (Figura 3.24) abrange uma superfície total de 48,59 m² e uma espessura total de 15 cm.

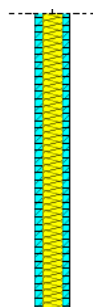
**Figura 3.24** – Pormenor da parede interior – Par\_Int\_3.

**Tabela 3.22** – Características da compartimentação interior – Par\_Int\_3.

<b>Par_Int_3</b>	<b>Constituição</b>	<b>e (m)</b>	<b><math>\lambda</math> (W/m.°C)</b>	<b>R (m².°C/W)</b>	<b>U (W/m².°C)</b>	<b>Massa Volumica (kg/m³)</b>	<b>Massa Superficial (kg/m²)</b>
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	Lã de rocha	0,05	0,04	1,25		50	2,5
	Caixa-de-ar	0,02		0,11	0,33		
	Lã de rocha	0,05	0,04	1,25		50	2,5
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Resistência térmica total			2,99		r =	1,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						35,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						300,0
	M <sub>s</sub> kg/m²					EL3	30,0

**3.4.5.4. Par\_Int\_4**

Parede interior inserida no compartimento da cozinha/bar, sendo composta por placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm, isolamento térmico a lã de rocha com 4 cm de espessura e densidade de 50 kg/m³, e placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm. A Par\_Int\_4 (Figura 3.25) abrange uma superfície total de 8,32 m² e uma espessura total de 7 cm.

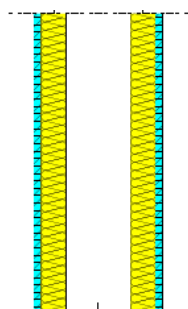
**Figura 3.25** – Pormenor da parede interior – Par\_Int\_4.

**Tabela 3.23** – Características da compartimentação interior – Par\_Int\_4.

Par_Int_4	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volumica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	$R_{si}$			0,13			
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	Lã de rocha (MW)	0,04	0,04	1,00	0,72	50	2,0
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	$R_{si}$			0,13			
	Resistência térmica total			1,38		r =	1,0
	$M_i$ kg/m²						32,0
	$M_i$ kg/m²						300,0
	$M_s$ kg/m²					EL3	30,0

### 3.4.5.5. Par\_Int\_5

Parede interior inserida no compartimento da cozinha/bar, sendo composta por placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm, isolamento térmico a lã de rocha com 5 cm de espessura e densidade de 50 kg/m³, caixa-de-ar com 13 cm de espessura, isolamento térmico a lã de rocha com 5 cm de espessura e densidade de 50 kg/m³, e placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm. A Par\_Int\_5 (Figura 3.26) abrange uma superfície total de 2,02 m² e uma espessura total de 26 cm.

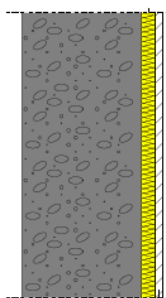
**Figura 3.26** – Pormenor da parede interior – Par\_Int\_5.

**Tabela 3.24** – Características da compartimentação interior – Par\_Int\_5.

Par_Int_5	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volúmica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	Lã de rocha (MW)	0,05	0,04	1,25		50	2,5
	Caixa-de-ar	0,13		0,15	0,33		
	Lã de rocha (MW)	0,05	0,04	1,25		50	2,5
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Resistência térmica total			3,03		r =	1,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						35,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						300,0
	M <sub>s</sub> kg/m²					EL3	30,0

### 3.4.5.6. Par\_Int\_6

Parede interior de separação do edifício entre os espaços cozinha/bar e sala de trabalho, sala de trabalho e sala de informática, e sala de trabalho e sala de conservação, sendo composta por placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm, caixa-de-ar com 2 cm de espessura, betão armado com percentagem de armadura inferior a 1% com espessura de 15 cm, caixa-de-ar com 2 cm de espessura, e placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm. A Par\_Int\_6 (Figura 3.27) abrange uma superfície total de 22,42 m² e uma espessura total de 22 cm.

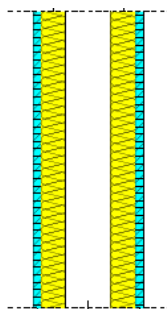
**Figura 3.27** – Pormenor da parede interior – Par\_Int\_6.

**Tabela 3.25** – Características da compartimentação interior – Par\_Int\_6.

Par_Int_6	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volúmica (kg/m³)	Massa Superficial (kg/m²)
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	Ar	0,02	0,025	0,80		1,23	0,025
	Betão armado % armadura <1%	0,15	2	0,08	0,49	2400	360,0
	Ar	0,02	0,025	0,80		1,23	0,025
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	R <sub>si</sub>			0,13			
	Resistência térmica total			2,06		r =	1,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						390,0
	M <sub>i</sub> kg/m²						300,0
	Ms, kg/m²					EL3	300,0

### 3.4.5.7. Par\_Int\_7

Parede interior de separação do edifício entre os espaços sala de trabalho e sala de conservação, sala de trabalho e sala de informática, sala de trabalho e vestiários, sala de conservação e sala de informática, sala de conservação e vestiários, e sala de informática e vestiários, sendo composta por placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm, isolamento térmico a lã de rocha com 5 cm de espessura e densidade de 50 kg/m³, caixa-de-ar com 9 cm de espessura, isolamento térmico a lã de rocha com 5 cm de espessura e densidade de 50 kg/m³, e placa de gesso cartonado com espessura 1,5 cm. A Par\_Int\_7 (Figura 3.28) abrange uma superfície total de 69,37 m² e uma espessura total de 22 cm.



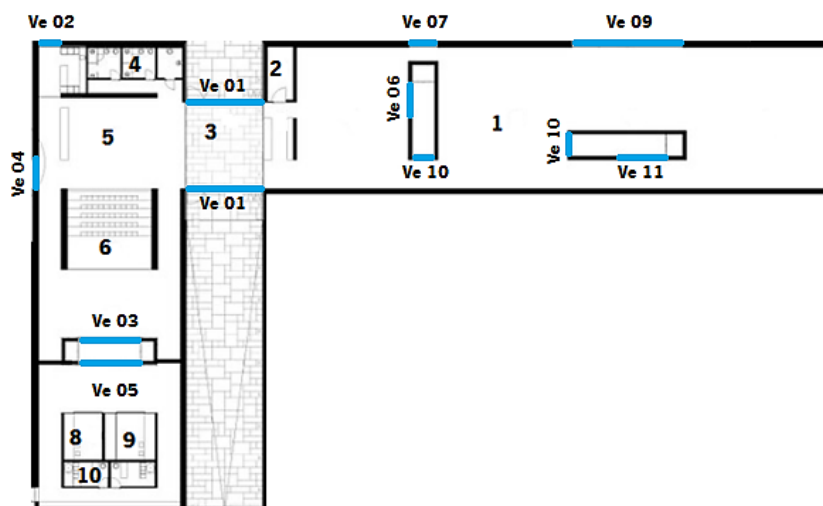
**Figura 3.28** – Pormenor da parede interior – Par\_Int\_7.

**Tabela 3.26** – Características da compartimentação interior – Par\_Int\_7.

Par_Int_7	Constituição	e (m)	$\lambda$ (W/m.°C)	R (m².°C/W)	U (W/m².°C)	Massa Volúmica (kg/m³)	Massa (kg/m²)
	$R_{si}$			0,13			
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	Lã de rocha (MW)	0,05	0,04	1,25		50	2,5
	Caixa-de-ar	0,09		0,11	0,33		
	Lã de rocha (MW)	0,05	0,04	1,25		50	2,5
	Placa de gesso cartonado	0,015	0,25	0,06		1000	15,0
	$R_{se}$			0,13			
	Resistência térmica total			2,99		r =	1,0
	$M_i$ kg/m²						35,0
	$M_i$ kg/m²						300,0
	$M_s$ kg/m²					EL3	30,0

### 3.4.6. Envidraçados

O edifício é composto por 12 vãos envidraçados exteriores, como revela a Figura 3.29.



**Figura 3.29** – Envidraçados exteriores do edifício.

Os factores solares e coeficientes de transmissão térmica dos envidraçados e das protecções solares foram determinados com base nas soluções consideradas no projecto e nos valores de referência do quadro V.4 do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006).

O coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ) de um vão envidraçado depende de vários factores:

- Do tipo de caixilharia (madeira, metálica com ou sem corte térmico e plástico);
- Do tipo de vão;
- Do tipo de vidro (espessura, emissividade);
- Da espessura da lâmina de ar;
- Do dispositivo de oclusão.

O RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006) impõe factores solares máximos admissíveis em função da classe de inércia térmica e da zona climática. Sendo a localidade de Terras de Bouro considerada uma zona climática V2, e como a fracção possui uma inércia térmica média, o factor solar máximo é de 0,56 (Quadro IX do Anexo IX do RCCTE).

Os envidraçados do Museu de uma maneira geral tem as mesmas características, sendo apresentadas na tabela seguinte.

**Tabela 3.27** – Características dos envidraçados.

Envidraçados verticais	Caixilharia	Factor Solar g <sub>Lvidro</sub>	Factor solar Inverno g <sub>Linv</sub>	Factor Solar g <sub>L100%</sub>	Factor Solar g <sub>Lverão</sub>	Dispositivos de Sombreamento	U (W/m².°C)
	<b>Localização:</b> Norte: Ve01,Ve02,Ve05,Ve07,Ve09 ,Ve10,Ve11. Sul:Ve01,Ve03. Este:Ve10,Ve06. Oeste:Ve04. <b>Descrição:</b> Vidro duplo, caixilharia metálica com corte térmico.	0,75	0,63	0,47	0,55	Protecção solar pelo interior do tipo cortina ligeiramente transparente, cor média	3,0

Os envidraçados são constituídos por um vidro exterior incolor com 6 mm de espessura e por um vidro interior incolor com 5 mm de espessura, separados por uma caixa-de-ar com 10 mm de espessura. Serão colocados em caixilharia metálica com corte térmico, sendo caracterizada por coeficiente de transmissão térmica de 4,0 (W/m².°C).

### 3.4.7. Inércia térmica

A massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento ( $I_t$ ) é calculada pela seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \times S_i}{A_p} \quad (2)$$

Em que,

- $M_{si}$  – massa superficial útil do elemento i (kg/m²);
- $S_i$  – área de superfície inferior do elemento i (m²);
- $A_p$  – área útil de pavimento (m²).

De acordo com as características de referência apontadas no Anexo VII do (Decreto-Lei n.º 80/2006), e segundo o quadro VII.6 do mesmo Anexo, a classe de inércia da fracção autónoma, cujo cálculo detalhado se apresenta no **Anexo B**, é Média.



### 3.4.8. Pontes térmicas

As pontes térmicas são zonas da envolvente dos edifícios onde, devido à sua geometria ou à existência de materiais com elevada condutibilidade térmica, o calor do ambiente interior encontra um caminho fácil – uma ponte – para se transmitir ao exterior. O acréscimo de perda térmica representa de certa forma um desajustamento face às exigências de conforto e economia. Podemos classificar as pontes térmicas em planas e lineares.

Segundo o RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006) uma ponte térmica plana é uma heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente exterior ou da envolvente interior em contacto com espaços não úteis, tais como pilares, talões de viga e caixas de estore. A ponte térmica é quantificada multiplicando o valor de coeficiente de transferência térmica pela área. Para o presente edifício não existem pontes térmicas planas.

Uma ponte térmica linear corresponde à ligação de dois elementos construtivos exteriores e é uma singularidade da envolvente em que o fluxo térmico é bidimensional ou tridimensional assimilada a uma perda térmica por unidade de comprimento. A ponte térmica é quantificada multiplicando o valor do coeficiente de transmissão térmica linear ( $\psi$ ) pelo desenvolvimento. Os coeficientes de transmissão térmica linear são obtidos através das tabelas IV.2.1, IV.2.2 e IV.2.3 do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006). Na tabela seguinte são apresentadas o valor das pontes térmicas existentes no edifício.

**Tabela 3.28** – Perdas térmicas lineares.

<b>Pontes Térmicas Lineares</b> <b>Ligações entre:</b>	<b>Tipo ligação</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b><math>\Psi</math> (W/m.°C)</b>	<b><math>B \cdot \Psi</math> (W/°C)</b>
Fachada com os pavimentos térreos	A	226,14	0,61	137,95
Fachada com pavimentos não aquecidos e exteriores	B	0	0	0
Fachada com pavimentos intermédios	C	0	0	0
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	D	111,76	0,41	45,82
Fachada com varanda	E	0	0	0
Duas paredes verticais	F	8,16	0,2	1,63
Fachada com caixa de estore	G	0	0	0
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	H	174,22	0,2	34,84
			Total	220,24

### 3.5. Sistema de Climatização

A presente instalação é basicamente constituída por um equipamento produtor de água fria/quente a instalar num espaço anexo ao edifício; e por unidades terminais a instalar nos locais que vão servir.

A unidade produtora de água fria/quente realiza em permutadores separados, sistema de 4 tubos, as funções de só frio, só calor e frio e calor simultaneamente. A unidade terá como características mínimas as seguintes capacidades (Tabela 3.29), calculadas de acordo com as condições de projecto, e ainda:

- Temperatura de água à saída:

7°C / 45°C

- Temperatura de retorno:

12°C / 40°C

**Tabela 3.29** – Características da unidade produtora água fria/quente.

Características	Frio (kW)	Calor (kW)
	93,2	126,2

Serviu como referência a unidade da marca **CIAT** do modelo **MI-450** (Figura 3.30). O sistema utilizado, bomba de calor para aquecimento e arrefecimento, tem um *COP* ("Coefficient of Performance") de 4, *EER* ("Energy Efficiency Ratio") de 3, e um factor de conversão 0,29 kgep/kWh.



**Figura 3.30** – Aquapack MI-450 (reproduzido da biblioteca de equipamentos do Cype).

As unidades climatizadoras (Figura 3.31) são 5 e terão as seguintes características gerais (Tabela 3.30):

**Tabela 3.30** – Características das unidades terminais.

Unidade	Frio (kW)	Calor (kW)
<b>UC1</b>	33,95	24,5
<b>UC2</b>	31,15	59,5
<b>UC3</b>	25,23	19,45
<b>UC4</b>	16,53	13,76
<b>UC5</b>	11,65	9,15

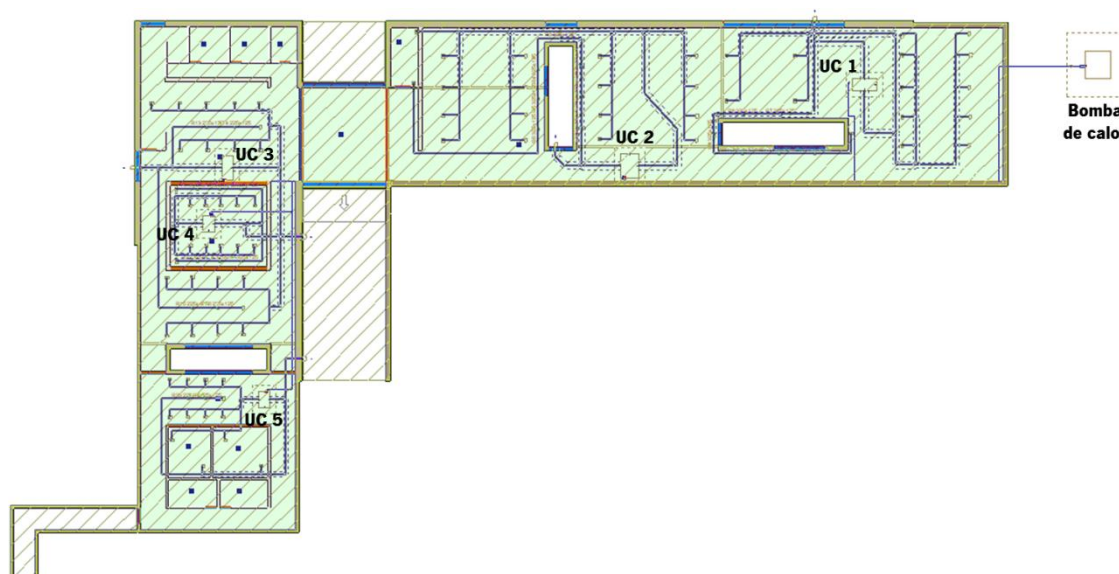
Serviram como referencia as unidades da marca **CIAT** do modelo **Hydronic CTB2-H**.



**Figura 3.31** – Hydronic CTB2 (reproduzido da biblioteca de equipamentos do *Cype*).

A Unidade Climatizadora (UC) 1 abrange a sala de exposições, a UC 2 climatiza a sala de exposições e os arrumos, a UC 3 a cozinha/bar, a UC4 o auditório e a UC 4 climatiza a sala de trabalho, a sala de conservação e a sala de informática.

De referir que o sistema de climatização sofreu umas pequenas alterações de modo a inserir a entrada de ar novo. Assim o ar extraído dos espaços e o ar novo são tratados nas UTA, permitindo depois a insuflação nos espaços de ar tratado a 20 °C. Na figura seguinte está representada a instalação do sistema de climatização.



**Figura 3.32** – Instalação do sistema de climatização.

Existirá também um sistema de exaustão repartido, e responsável pelas exaustões dos sanitários, a compensação será realizada por entradas de ar novo às unidades terminais através de grelhas montadas nas paredes destes compartimentos, as quais admitem o ar necessário dos espaços principais, que farão a respectiva correcção térmica. Assim, as zonas dos sanitários ficarão em depressão e os espaços principais neutros.

As unidades de ventilação serão instaladas nas zonas dos sanitários e terão como características:

**Tabela 3.31** – Características dos ventiladores.

Unidade	Tipo	Caudal (m³/h)
VE1	Centrífugo	400
VE2	Centrífugo	400

### 3.6. Águas Quentes Sanitárias (AQS)

O RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006) obriga a que sejam instalados colectores solares térmicos em todos os edifícios desde que a exposição solar seja adequada, sendo obrigatório o recurso a sistemas solares térmicos para produção de AQS, na base de 1 m² de colector por ocupante convencional previsto para edifícios de habitação e de 2,5 m² por cada 100 litros diários (60 °C) de consumo para edifícios de serviços, podendo esse valor ser reduzido de forma a não

ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível. Considera-se que existe exposição solar adequada sempre que a cobertura, em terraço ou inclinada no quadrante Sul, não seja sombreada por obstáculos consideráveis entre o período que compreende duas horas depois do nascer do sol e duas horas antes do ocaso.

Para se conhecer a contribuição do sistema de colectores solares para aquecimento das AQS ( $E_{\text{solar}}$ ) utiliza-se o programa *SOLTERM* do *LNEG*. O sistema é constituído por colectores comuns, depósito e apoio individual que neste caso é um termoacumulador eléctrico, com pelo menos 100 mm de isolamento térmico.

Tendo em atenção as indicações dadas pela legislação, estimou-se que o consumo diário de AQS seria de 100 litros e a área de colectores a mínimo exigida (2,5 m<sup>2</sup>). Com o auxílio do programa *SOLTERM* foi seleccionado um colector com 2,5 m<sup>2</sup> da marca **Solius Silversol XL** e um volume de armazenamento de 500 litros e foi obtida a energia fornecida pela instalação solar de 1101 kW.h/ano e a energia necessária de 1638 kW.h/ano. Assim o termoacumulador eléctrico terá que fornecer 537 kW.h/ano de energia para aquecimento das AQS. As listagens do *SOLTERM* são apresentadas no **Anexo C**.

### **3.7. Caracterização dos espaços – análise nominal**

A caracterização dos espaços resulta do projecto de especialidade do edifício escolhido. No **Anexo E** apresentam-se os perfis nominais de utilização do edifício.

#### **3.7.1. Ocupação**

Quanto à ocupação o edifício pode ser dividido em diferentes tipos de utilização. Podemos considerar a sala de exposições e os arrumos tendo as mesmas características que Museus e Galerias (densidade de ocupação de 40 m<sup>2</sup>/ocupante), a cozinha como Pronto a comer (densidade de ocupação de 5 m<sup>2</sup>/ocupante), o auditório como Cinema e Teatro (densidade de ocupação de 2 m<sup>2</sup>/ocupante) e a sala de trabalhos, sala de conservação e sala de informática como Escritórios (densidade de ocupação de 15 m<sup>2</sup>/ocupante). A tabela seguinte demonstra a ocupação nominal do edifício.

**Tabela 3.32** – Ocupação nominal do edifício.

<b>Tipo de actividade</b>	<b>Ocupação</b>
<b>Sala Exposições</b>	13
<b>Arrumos</b>	1
<b>Bar / Cozinha</b>	48
<b>Auditório</b>	25
<b>Sala de trabalho</b>	6
<b>Sala de conservação</b>	1
<b>Sala de informática</b>	1
<b>Total</b>	<b>95</b>

A densidade de ocupação do Museu é de 11,4 m<sup>2</sup>/ocupante.

### 3.7.2. Caudais mínimos de ar novo

De acordo com o Anexo VI do RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006) os caudais mínimos de ar novo utilizados na análise nominal são os demonstrados na tabela seguinte.

**Tabela 3.33** – Caudais mínimos de ar novo regulamentar.

<b>Tipo de actividade</b>	<b>Referência</b>	<b>Caudal regulamentar mínimo de ar novo</b>	
		<b>m<sup>3</sup>/(h.ocupante)</b>	<b>m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)</b>
<b>Sala de Exposições</b>	Sala de recepção	30	15
<b>Arrumos</b>	Áreas de armazenamento	-	5
<b>Cozinha/Bar</b>	Sala de preparação de refeições	30	-
<b>Auditório</b>	Auditórios	30	-
<b>Sala de trabalho</b>	Sala de computador	30	-
<b>Sala de conservação</b>	Sala de computador	30	-
<b>Sala de informática</b>	Sala de computador	30	-

O valor do caudal mínimo de ar novo regulamentar é afectado ainda pela eficiência de ventilação que foi considerada de 80%.

### 3.7.3. Iluminação

As potências de iluminação interior a instalar nos diversos espaços foram facultadas através do projecto da especialidade e podem ser observadas na seguinte tabela.

**Tabela 3.34** – Potências de iluminação dos diversos espaços.

<b>Divisão</b>	<b>Iluminação (W)</b>
<b>Sala Exposições</b>	5160
<b>Arrumos</b>	41
<b>Átrio</b>	500
<b>Wc's</b>	123
<b>Bar / Cozinha</b>	2648
<b>Auditório</b>	980
<b>Sala de trabalho</b>	1110
<b>Sala de conservação</b>	250
<b>Sala de informática</b>	250
<b>Vestiários</b>	200
<b>Total</b>	<b>11262</b>

A potência de iluminação exterior é de 1000 W ao qual é considerando o perfil constante indicado pelo RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006) de 5400 horas de funcionamento por ano. Assim a energia consumida anualmente é de 5400 kWh/ano.

### 3.7.4. Equipamentos

De acordo com o Anexo XV do RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006) as potências de utilização de equipamentos usadas na análise nominal são,

- Museus e galerias (sala de exposições e arrumos), 2 W/m²;
- Pronto a comer (bar/cozinha), 30 W/m²;

- Cinemas e Teatros (auditório), 2 W/m<sup>2</sup>;
- Escritórios (sala de trabalho, sala de conservação e sala de informática), 15 W/m<sup>2</sup>.

De referir que no compartimento do bar/cozinha considerou-se uma densidade de 30 W/m<sup>2</sup> para a parte da cozinha (8,6 m<sup>2</sup>) e para a restante área 2 W/m<sup>2</sup>, sendo efectuada uma média ponderada o que resultou numa densidade de equipamento de 3 W/m<sup>2</sup>.

### 3.8. Caracterização dos espaços – análise real

A caracterização dos espaços com perfis reais resulta da experiência vivenciada após a abertura do edifício.

#### 3.8.1. Ocupação

Para a densidade de ocupação real foi considerada um dia de abertura de uma exposição, no qual se verificaram as seguintes ocupações.

**Tabela 3.35** – Ocupação real do edifício.

<b>Tipo de actividade</b>	<b>Ocupação</b>
<b>Sala Exposições</b>	80
<b>Arrumos</b>	1
<b>Bar / Cozinha</b>	50
<b>Auditório</b>	52
<b>Sala de trabalho</b>	10
<b>Sala de conservação</b>	3
<b>Sala de informática</b>	3
<b>Total</b>	<b>199</b>

A densidade de ocupação do Museu é de 5,4 m<sup>2</sup>/ocupante.



### 3.8.2. Caudais mínimos de ar novo

Como se considera a eficiência de ventilação de 80% obtemos os caudais efectivos apresentados na tabela seguinte. No **Anexo D** pode-se analisar mais detalhadamente o processo de cálculo do caudal mínimo regulamentar.

**Tabela 3.36** – Caudal mínimo de ar novo.

Tipo de actividade	Caudal mínimo regulamentar	Caudal efectivo
	(m <sup>3</sup> /h)	(m <sup>3</sup> /h)
<b>Sala de Exposições</b>	8312	10389
<b>Arrumos</b>	54	68
<b>Cozinha/Bar</b>	1500	1875
<b>Auditório</b>	1560	1950
<b>Sala de trabalho</b>	300	375
<b>Sala de conservação</b>	90	113
<b>Sala de informática</b>	90	113

### 3.8.3. Iluminação

As potências de iluminação foram consideradas as mesmas das nominais.

### 3.8.4. Equipamentos

As potências dos equipamentos foram consideradas as mesmas das nominais.



## **4. SIMULAÇÃO**



## 4.1. Introdução

Os requisitos energéticos serão calculados com base nos padrões nominais de utilização dos edifícios, definidos para a tipologia considerada no Anexo XV do Decreto-Lei n.º 79/2006. A simulação do funcionamento do edifício utilizando os padrões nominais irá dar origem à obtenção do consumo nominal específico ( $IEE_{nom}$ ) que será comparado com o respectivo valor de referência limite. O  $IEE_{nom}$  traduz o consumo nominal específico de um edifício, ou seja, a energia necessária para o funcionamento de um edifício durante um ano tipo, sob padrões nominais de funcionamento e por unidade de área ou por unidade de serviços prestado, de forma a permitir comparações objectivas entre diferentes imóveis.

Os consumos reais podem variar bastante dos indicados e dependem das atitudes e padrões de comportamento dos utilizadores. O valor de referência para este indicador ( $IEE_{ref}$ ) está definido no Decreto Lei 79/2006 de 4 de Abril para edifícios cuja licença ou autorização de construção é posterior a 4 de Julho de 2006, bem como para edifícios já existentes aquela data. Nos casos de edifício ou fracções autónomas com mais de uma tipologia de actividade, o  $IEE_{nom}$  e  $IEE_{ref}$  correspondem a valores ponderados de acordo com as áreas afectas a cada tipologia. Na simulação térmica do edifício considerou-se que o sistema de climatização funciona sempre que o espaço tem ocupação e de acordo com os perfis reais indicados nas tabelas apresentadas no

### **Anexo F.**

De seguida apresenta-se as simulações nos programas *RCCTE-STE* (versão 2.3) e *Cypeterm* (versão 2013.d).

## 4.2. Simulação RCCTE-STE

O programa *RCCTE-STE* permite efectuar os cálculos necessário à aplicação do RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006) bem como, a requerida no RSECE (Decreto-Lei n.º 79/2006) no que se refere a metodologias de simulação simplificada, tendo como objectivos:

- A emissão das fichas e das folhas de cálculo dos Decretos-Lei 79 e 80/2006 necessárias ao licenciamento de edifícios;
- Permite manter uma base de dados de soluções de construção para utilizar na descrição dos diversos edifícios;

- É possível definir os edifícios a licenciar utilizando soluções existentes bem como utilizar novas soluções.
- Depois de definir o edifício, é possível efectuar os cálculos necessários e visualizar ou imprimir as fichas e as folhas de cálculo.

De seguida serão apresentados os dados de entrada da ferramenta de simulação, sendo analisados três casos distintos:

- 1) Simulação do Museu com perfis nominais;
- 2) Simulação do Museu com perfis reais;
- 3) Simulação do Museu com três zonas distintas, com perfis reais.

#### **4.2.1. Caracterização do Edifício**

Na caracterização do edifício são inseridos os seguintes elementos:

- Nome Edifício;
- Detalhes do Técnico;
- Concelho: Terras de Bouro;
- Localização: Situado na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural;
- Altitude: 640m;
- Zona abrangida por gás: Não.

#### **4.2.2. Caracterização da Fracção Autónoma**

A caracterização da fracção autónoma varia para os diferentes casos.

##### **4.2.2.1. Caso 1 e 2**

Na caracterização da fracção autónoma são importantes os seguintes aspectos:

- Fracção Autónoma
  - Tipo de fracção autónoma: Serviços;
  - Descrição: Edifício independente com um só piso térreo;
  - Tipologia: Museus e Galerias;
  - Piscina: Não;

- Ganhos térmicos internos médios por área útil ( $q_i$ ): 7 W/m<sup>2</sup>;
- Utilização: Encerrado 1 dia por semana;
- Pé direito médio: 2,72 m;
- Área útil: 1081,92 m<sup>2</sup>;
- Altura da fachada ao solo: 3,61 m.

➤ Sistema de Climatização

- Tipo de sistema de climatização: Aquecimento e Arrefecimento;
- Sistema de aquecimento: Bomba de calor, COP=4,  $F_{pu}=0,29$ , potência de aquecimento=126,2 kW.
- Sistema de arrefecimento: Bomba de calor, EER=3,  $F_{pu}=0,29$ , potência de arrefecimento=93,2 kW.

➤ Ventilação

- Tipo de Ventilação: Mecânica;
- Potência dos ventiladores: 7276 kW;
- Caudal de insuflação: 19750 m<sup>3</sup>/h;
- Caudal extraído: 20550 m<sup>3</sup>/h;
- Tipo de caudal: Constante;
- Recuperador de calor: Não.

➤ AQS

- Sistema: Termoacumulador eléctrico com pelo menos 100 mm de isolamento térmico,  $\eta_a=0,95$ ,  $F_{pu}=0,29$ ;
- $E_{solar}$ : 1101 kWh/ano;
- $E_{ren}$ : 0 kWh/ano;
- $M_{AQS}$ : 100 litros.

#### **4.2.2.2. Caso 3**

A diferença para os casos 1 e 2 é que neste caso temos 3 tipologias diferentes: Exposições, Bar/Auditório e Escritórios.

O espaço das Exposições é constituído pela Sala de exposições, Arrumos e Átrio. Abrange uma área total de 615,98 m<sup>2</sup>; a ventilação é mecânica tendo os ventiladores uma potência de 3300 W

e tem um caudal de insuflação igual ao de extracção de 11000 m<sup>3</sup>/h; e não se considera o sistema de AQS.

O espaço Bar/Auditório engloba o Bar/Cozinha, Auditórios e as WC's. Abrange uma área de 317,75 m<sup>2</sup>; a ventilação é mecânica tendo os ventiladores uma potência de 2976 W e tem um caudal de insuflação de 6750 m<sup>3</sup>/h e de extracção de 7150 m<sup>3</sup>/h.

O espaço dos Escritórios engloba a Sala de trabalho, Sala de informática, Sala de conservação e os vestiários. Abrange uma área de 148,19 m<sup>2</sup>; a ventilação é mecânica tendo os ventiladores uma potência de 1163 W e tem um caudal de insuflação de 2000 m<sup>3</sup>/h e de extracção de 2400 m<sup>3</sup>/h; e não se considera o sistema de AQS.

#### **4.2.3. Soluções de construção**

As soluções de construção variam para os diferentes casos.

##### **4.2.3.1. Caso 1 e 2**

As soluções de construção já foram definidas na caracterização do edifício sendo retratadas de modo mais detalhado no **Anexo H**.

##### **4.2.3.2. Caso 3**

As soluções de construção são globalmente as mesmas que as utilizadas nos casos 1 e 2 embora repartidas pelas 3 tipologias. A única diferença é a introdução do envidraçado de correr que separa o espaço das Exposições do Bar/Auditório e as duas portas de vidro que separam o Bar/Auditório do espaço dos Escritórios. Esta diferença leva a um aumento de perdas associadas à envolvente interior. No **Anexo H** podemos verificar mais detalhadamente a introdução destes dados.

#### **4.2.4. Caracterização de espaços úteis**

A caracterização dos espaços úteis varia para os diferentes casos.

##### **4.2.4.1. Caso 1 e 2**

Na caracterização de espaços úteis, ilustrado na Figura 4.1, todos os valores são pré-definidos do módulo de RCCTE do programa.



**EDIFÍCIO** ▶ caracterização do espaço útil

Tipologia pré-definida: Museus e galerias  
 Tipologia do utilizador: **Museus e galerias**  
 CANCELAR Definir novo perfil de utilização

Área de pavimento [m<sup>2</sup>]: 1081,92

Pé direito médio [m]: 2,72  
 média Inércia: 1765,65  
 Infiltração do ar [m<sup>3</sup>/h]: 1249,74

Factor de forma [m<sup>-1</sup>]: 0,54  
 Coeficiente de perdas da envolvente opaca [W/°C]: 422,44  
 Coeficiente de perdas dos vãos envidraçados [W/°C]: 1249,74

1081,92 Total

Área equivalente de ganho solar [m<sup>2</sup>]

	Vãos envidraçados (Inverno)	Vãos envidraçados (Verão)	Envolvente opaca
Horizontal	0	0	5,63
Norte	16,63	41,56	1,17
Nordeste	0	0	0
Este	2,68	5,83	0,69
Sul	5,09	5,62	0,51
Sudoeste	0	0	0
Oeste	1,3	2,11	0,94
Noroeste	0	0	0

Figura 4.1 – Caracterização do espaço útil do edifício.

#### 4.2.4.2. Caso 3

Para o caso 3 termos a caracterização do espaço útil segundo as três tipologias, como verificamos nas seguintes figuras.

**EDIFÍCIO** ▶ caracterização do espaço útil

Tipologia pré-definida: Museus e galerias  
 Tipologia do utilizador: **Exposições**  
 CANCELAR Definir novo perfil de utilização

Área de pavimento [m<sup>2</sup>]: 615,98

Pé direito médio [m]: 2,72  
 forte Inércia: 726,76  
 Infiltração do ar [m<sup>3</sup>/h]: 321,48

Factor de forma [m<sup>-1</sup>]: 0,55  
 Coeficiente de perdas da envolvente opaca [W/°C]: 321,48  
 Coeficiente de perdas dos vãos envidraçados [W/°C]: 321,48

615,98 Total

Área equivalente de ganho solar [m<sup>2</sup>]

	Vãos envidraçados (Inverno)	Vãos envidraçados (Verão)	Envolvente opaca
Horizontal	0	0	4,85
Norte	10,79	23,91	0,86
Nordeste	0	0	0
Este	3,97	8,36	0,16
Sul	5,09	2,82	0,36
Sudoeste	0	0	0
Oeste	1,3	2,11	0,41
Noroeste	0	0	0

Figura 4.2 – Caracterização do espaço útil do espaço das Exposições.

**EDIFÍCIO** ▶ caracterização do espaço útil

Tipologia pré-definida: Museus e galerias  
 Tipologia do utilizador: **Bar**  
 CANCELAR Definir novo perfil de utilização

Área de pavimento [m<sup>2</sup>]: 317,75

Pé direito médio [m]: 2,72  
 forte Inércia: 363,53  
 Infiltração do ar [m<sup>3</sup>/h]: 121,27

Factor de forma [m<sup>-1</sup>]: 0,55  
 Coeficiente de perdas da envolvente opaca [W/°C]: 363,53  
 Coeficiente de perdas dos vãos envidraçados [W/°C]: 121,27

317,75 Total

Área equivalente de ganho solar [m<sup>2</sup>]

	Vãos envidraçados (Inverno)	Vãos envidraçados (Verão)	Envolvente opaca
Horizontal	0	0	1,65
Norte	1,91	2,44	0,25
Nordeste	0	0	0
Este	0	0	0,51
Sul	1,88	2,8	0,15
Sudoeste	0	0	0
Oeste	1,3	2,11	0,45
Noroeste	0	0	0

Figura 4.3 – Caracterização do espaço útil do espaço Bar/Auditório.

**EDIFÍCIO** ▶ caracterização do espaço útil

Tipologia pré-definida: Escritórios  
 Tipologia do utilizador: **Trabalho**  
 CANCELAR Definir novo perfil de utilização

Área de pavimento [m<sup>2</sup>]: 148,19

0 Cozinhas \*  
 Pé direito médio [m]: 2,72  
 forte Inércia: 178,83  
 Infiltração do ar [m<sup>3</sup>/h]: 75,92

Factor de forma [m<sup>-1</sup>]: 0,55  
 Coeficiente de perdas da envolvente opaca [W/°C]: 178,83  
 Coeficiente de perdas dos vãos envidraçados [W/°C]: 75,92

148,19 Outros espaços  
 148,19 Total

Área equivalente de ganho solar [m<sup>2</sup>]

	Vãos envidraçados (Inverno)	Vãos envidraçados (Verão)	Envolvente opaca
Horizontal	0	0	5,62
Norte	13,71	7,83	0,06
Nordeste	0	0	0
Este	3,97	8,36	0,01
Sul	5,09	2,82	0,36
Sudoeste	0	0	0
Oeste	1,3	2,11	0,08
Noroeste	0	0	0

\* Espaço incluído na zona útil mas, devido aos elevados ganhos internos, não se contabiliza para o cálculo das necessidades de aquecimento ou arrefecimento.

Figura 4.4 – Caracterização do espaço útil do espaço dos Escritórios.

### 4.2.5. Ocupação

Na caracterização da ocupação de espaço temos valores conforme definidos anteriormente, iguais aos pré-definidos provenientes do RSECE para Museus e Galerias, sendo a densidade de ocupação de 40 m<sup>2</sup> por ocupante. A energia produzida no interior do corpo é chamada de actividade metabólica e depende do tipo de actividade efectuada. A unidade utilizada para caracterizar a actividade metabólica é o met, que corresponde ao calor libertado por uma pessoa em descanso – 100 W. Na tabela seguinte observamos as taxas de metabolismo dos ocupantes para os diferentes tipos de actividade.

**Tabela 4.1** – Taxas de metabolismo dos ocupantes (Adene, 2012).

<b>Tipo de actividade</b>	<b>Taxa de metabolismo dos ocupantes, M (met)</b>	<b>Exemplos de tipo de espaço</b>
Sono	0,8	Quartos, dormitórios e similares
Descanso	1,0	Salas de repouso, salas de espera, salas de conferências, auditórios e similares
Sedentária	1,2	Escritórios, gabinetes, secretarias, salas de aula, bibliotecas, cinemas, salas de espectáculo, salas de refeições, lojas e similares
Moderada	1,4 a 2,0	Laboratórios, ateliers, salas de desenho e trabalhos oficinais, cafés, bares, salas de jogos e similares
Ligeiramente alta	2,0 a 3,0	Pistas de dança, salas em ginásios e similares
Alta	3,0 a 9,0	Salas em ginásios, pavilhões desportivos e similares

Assim, considerou-se uma carga térmica libertada por ocupante, para os seguintes locais, de:

- Sala de exposições e Arrumos: 100 W/ocupante;
- Auditório: 100 W/ocupante;
- Bar/Cozinha: 120 W/ocupante;
- Sala de trabalho, sala de conservação e sala de informática: 120 W/ocupante.

#### 4.2.5.1. Caso 1

Para uma análise nominal o RSECE considera uma carga térmica de 120 W/ocupante.

#### **4.2.5.2. Caso 2**

Numa análise real o Museu foi dimensionado para uma situação onde teria uma ocupação total de 199 ocupantes, sendo a densidade de 5 m<sup>2</sup> por ocupante e considerando, após média ponderada, uma carga térmica de 108 W libertada por ocupante.

#### **4.2.5.3. Caso 3**

No caso 3 foram utilizadas, segundo as condições reais, as seguintes características de ocupação:

**Tabela 4.2** – Características de ocupação do Caso 3.

<b>Fracção Autónoma</b>	<b>Densidade de ocupação</b>	<b>Actividade</b>
	<b>[m<sup>2</sup>/ocupante]</b>	<b>[W/ocupante]</b>
Exposições	7,0	100
Bar/Auditório	3,0	108
Escritórios	9,0	120

Os valores foram obtidos após média ponderada.

#### **4.2.6. Iluminação**

A caracterização da iluminação varia para os diferentes casos.

##### **4.2.6.1. Caso 1 e 2**

Na caracterização da iluminação dos vários espaços temos valores conforme definidos anteriormente que resulta do projecto da especialidade, sendo a densidade de iluminação de 10 W/m<sup>2</sup>.

##### **4.2.6.2. Caso 3**

No Caso 3 caracteriza-se a densidade de iluminação conforme a iluminação existente em cada fracção autónoma, valores apresentados no ponto 3.7.3. Assim verifica-se uma densidade de iluminação de 9 W/m<sup>2</sup> para as Exposições, 12 W/m<sup>2</sup> para a zona das refeições e Auditório e 12 W/m<sup>2</sup> para os Escritórios.

### **4.2.7. Equipamento**

A caracterização do equipamento varia para os diferentes casos.

#### **4.2.7.1. Caso 1**

Os perfis nominais adoptados para o equipamento são os pré-definidos provenientes do RSECE para Museus e Galerias, sendo a densidade de equipamento de 2 W/m<sup>2</sup>.

#### **4.2.7.2. Caso 2**

Relativamente à simulação real, efectua-se uma média ponderada dos valores apresentados no ponto 3.7.4 do qual resulta uma densidade de equipamento de 4 W/m<sup>2</sup>.

#### **4.2.7.3. Caso 3**

No Caso 3 caracteriza-se a densidade de equipamento conforme o equipamento existente em cada fracção autónoma, valores utilizados os pré estabelecidos pelo RSECE e apresentados no ponto 3.7.4. Assim verifica-se uma densidade de equipamento de 2 W/m<sup>2</sup> para as Exposições, 3 W/m<sup>2</sup> para a zona das refeições e Auditório e 15 W/m<sup>2</sup> para os Escritórios.

### **4.2.8. Ventilação**

A caracterização da ventilação varia para os diferentes casos.

#### **4.2.8.1. Caso 1 e 2**

O caudal de Ar novo nominal obtém-se por aplicação das eficiências aos caudais nominais, que são determinados a partir da ocupação nominal. O valor total da quantidade de Ar Novo necessária é de 10861 m<sup>3</sup>/h, como demonstrado na Figura 4.5.

A ventilação foi definida pelo utilizador, fazendo corresponder às áreas de compartimentos em função das estipuladas pelo programa:

- Sala de Exposições: 554,1 m<sup>2</sup>;
- Arrumos: 10,8 m<sup>2</sup>;
- Bar / Cozinha: 234,4 m<sup>2</sup>;
- Auditório: 51,6 m<sup>2</sup>;

- Sala de trabalho: 98,9 m²;
- Sala de conservação: 14 m²;
- Sala de informática: 18,3 m²;
- Outros: restante área.

**UTILIZAÇÃO** ▶ ventilação

Pré-Definido Definido pelo Utilizador

10861 Caudal mínimo de ar novo [m³/h] Recalcular Quadro

1765,69 Infiltração de ar nos períodos sem ocupação [m³/h]

Segunda a Sexta			Sábado			Domingo e Feriados		
0:00	0	75	0:00	0	80	0:00	0	80
1:00	0	85	1:00	0	90	1:00	0	90
2:00	0	90	2:00	0	100	2:00	0	100
3:00	0	85	3:00	0	95	3:00	0	95
4:00	0	15	4:00	0	15	4:00	0	15
5:00	0	5	5:00	0	5	5:00	0	5
6:00	0	0	6:00	0	0	6:00	0	0
7:00	5	0	7:00	5	0	7:00	5	0
8:00	10	0	8:00	15	0	8:00	15	0
9:00	65	0	9:00	90	0	9:00	90	0
10:00	90	0	10:00	100	0	10:00	100	0
11:00	90	0	11:00	95	0	11:00	95	0

Padrão de ocupação [%]

Caudal de ar novo [m³/h.m²]

**Figura 4.5** – Caudal de ar novo nominal do edifício.

As taxas de renovação de ar novo reais devem garantir os valores que constam do Anexo VI do RSECE. Assim, para o cumprimento deste requisito regulamentar, é considerado o valor mais restritivo, que conduza à situação mais desfavorável, isto é, o maior valor de caudal de ar novo (m³/h), pois desta forma o outro valor é automaticamente verificado.

Devido a uma menor taxa de ocupação, o valor dos caudais de ar novo reais serão maiores que os nominais, sendo de 11845 m³/h, como demonstrado na Figura 4.6.

**UTILIZAÇÃO** ▶ ventilação

Pré-Definido Definido pelo Utilizador

11845 Caudal mínimo de ar novo [m³/h] Recalcular Quadro

1765,69 Infiltração de ar nos períodos sem ocupação [m³/h]

Segunda a Sexta			Sábado			Domingo e Feriados		
0:00	0	60	0:00	0	60	0:00	0	60
1:00	0	70	1:00	0	65	1:00	0	65
2:00	0	80	2:00	0	65	2:00	0	65
3:00	0	80	3:00	0	65	3:00	0	65
4:00	0	35	4:00	0	10	4:00	0	10
5:00	0	20	5:00	0	5	5:00	0	5
6:00	5	5	6:00	0	0	6:00	0	0
7:00	10	5	7:00	5	0	7:00	5	0
8:00	20	0	8:00	10	0	8:00	10	0
9:00	65	0	9:00	65	0	9:00	65	0
10:00	85	0	10:00	65	0	10:00	65	0
11:00	85	0	11:00	65	0	11:00	65	0

Padrão de ocupação [%]

Caudal de ar novo [m³/h.m²]

**Figura 4.6** - Caudal de ar novo real do edifício.

#### 4.2.8.2. Caso 3

O processo de definição do caudal mínimo de ar para o Caso 3 é o mesmo utilizado para os outros casos só que dividido pelas fracções autónomas. Na tabela seguinte podemos observar a caracterização da ventilação utilizada no programa.

**Tabela 4.3** – Caracterização da ventilação do Caso 3.

<b>Fracção Autónoma</b>	<b>Caudal mínimo de ar novo</b> (pré-definido)	<b>Caudal mínimo de ar novo</b> (definido pelo utilizador)	<b>Infiltrações de ar nos períodos sem ocupação</b> [m³/h]
<b>Exposições</b>	8366	8366	1173
<b>Bar/Auditório</b>	2233	3007	605
<b>Escritórios</b>	264	474	282

#### 4.2.9. Temperatura de referência de aquecimento e arrefecimento

São pré-definidas pelo programa em função do estipulado anteriormente.

- ✓ Temperatura de referência de aquecimento: 20 °C;
- ✓ Temperatura de referência de arrefecimento: 25 °C.

#### 4.2.10. AQS

O consumo médio diário de referência para um edifício de serviços é de 100 litros, mas foi considerado um consumo relativamente maior (200 litros) devido à pouca exactidão do valor referência para um edifício deste género.

##### 4.2.10.1. Caso 1 e 2

Considerando a área do Museu de 1081,92 m² e uma ocupação de 40 m² por ocupante resulta num número médio de ocupantes nos dias de ocupação de 27, o que equivale a um consumo médio diário de 7,4 litros/dia.ocupante. Como o edifício encerra uma vez por semana, o número de dias com ocupação será de 313 e assumindo um aumento de temperatura de 45 °C obtemos, através da seguinte equação, uma energia despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS de 3276 kWh/ano.

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d)}{3600000} \text{ (kWh/ano)} \quad (3)$$

Em que,

- $Q_a$  – Energia despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS;
- $M_{AQS}$  – Consumo médio diário de referência AQS;
- $\Delta T$  – Aumento de temperatura necessário para preparar a AQS;
- $n_d$  – Número anual de dias de consumo de AQS.

Para efeitos regulamentares, as necessidades anuais de energia útil para preparação de AQS ( $N_{ac}$ ) são calculadas através da seguinte expressão:

$$N_{ac} = \frac{\left(\frac{Q_a}{n_a}\right) - E_{solar} - E_{ren}}{A_p} \text{ (kWh/m}^2\text{.ano)} \quad (4)$$

Em que,

- $n_a$  – Eficiência de conversão dos sistemas de preparação de AQS;
- $E_{solar}$  – Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento de AQS;
- $E_{ren}$  – Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis para preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou fluidos residuais;
- $A_p$  – Área útil de pavimento.

Como já foi referido anteriormente, a contribuição de sistemas de colectores solares é de 1101 kWh/ano e o edifício não possui outras formas de energias renováveis. A eficiência do termoacumulador eléctrico é de 0,95 o que resulta em necessidades anuais de energia útil para preparação de AQS de 2,17 kWh/m<sup>2</sup>.ano.

De salientar que o programa ao efectuar este cálculo incorre num erro de leitura, pois é especificado que o Museu encerra uma vez por semana e no cálculo das necessidades anuais de energia útil para preparação de AQS considera um número anual de dias de consumo de AQS de 365 dias, o que sendo assim, obtemos 2,7 kWh/m<sup>2</sup>.ano de  $N_{ac}$  como ilustrado na Figura 4.7.

Outro pormenor a ter em atenção é facto de considerar o número médio de ocupantes nos dias de ocupação de 25, o que leva a rectificar o consumo médio diário para 8 litros por ocupante.

**CONSUMOS** ▶ águas quentes sanitárias

8	Consumo médio diário [litros/dia.ocupante]
45	Aumento de temperatura [°C]
25	Número médio de ocupantes nos dias com ocupação
365	Número de dias com ocupação
3820,6	Energia dispendida em AQS [kWh/ano]

Sistema convencional

termoacumulador eléctrico

pelo menos 100 mm de isolamento térmico

Eficiência 0,95

Factor de conversão [kgep/kWh] 0,29

	[kWh/ano]
Sistema convencional	4021,7
Colectores solares	1101
Outras formas de energias renováveis	0
<b>Total</b>	<b>2,7 [kWh/m2.ano]</b>

**Figura 4.7** – Consumos de AQS.

#### 4.2.10.2. Caso 3

Relativamente ao Caso 3, devido ao facto de existir 3 fracções autónomas, só foi considerada o consumo de AQS para o espaço do Bar e Cozinha. Os restantes espaços ficam assim com valor nulo a este parâmetro.

A ocupação na fracção a considerar é menor que no total do edifício o que conduziu a uma rectificação dos valores inseridos. Considerando a área do Bar/Auditório de 317,75 m<sup>2</sup> e uma ocupação de 40 m<sup>2</sup> por ocupante resulta num número médio de ocupantes nos dias de ocupação de 7,9 (o programa considera para este cálculo 7). Alheio aos erros apresentados pelo programa (este considera o consumo médio diário de AQS de 100 litros quando o introduzido nas definições gerais é de 200 litros), e de modo a não afectar os resultados finais relativamente à influência deste parâmetro, definiu-se um consumo médio diário de 14 litros/dia por ocupante de modo a obter um valor  $N_{ac}$  de 2,7 kWh/m<sup>2</sup>.ano.



#### 4.2.11. Outros consumos

O Museu possui iluminação exterior com uma potência de 1000 W com funcionamento de 5400 horas por ano. Na Figura 4.8 podemos ver estes dados mais detalhadamente. No Caso 3 foi considerada a iluminação exterior só para o espaço das Exposições.

<b>CONSUMOS</b>		▶ outros		Densidade [W/m <sup>2</sup> ]	Potência total [kW]	Horas de funcionamento [h/ano]
Zona útil *						
* espaços que constituem a zona útil à excepção de cozinhas e lavandarias		Iluminação		10	6,16	2540
		Equipamento		2	1,23	2320
		Iluminação exterior		1		5400
Equipamento						
		FONTE DE ENERGIA		sistemas de frio		
		Electricidade [%]	Combustível sólido, líquido ou gasoso [%]			
cozinha	100		0	0	0	0
lavandaria	100		0	0	0	0
outros	100		0	0	0	0

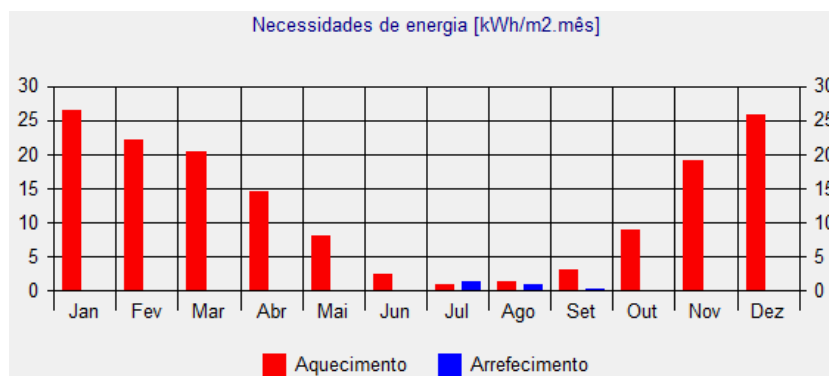
**Figura 4.8 – Outros consumos.**

#### 4.2.12. Base de datos climáticas

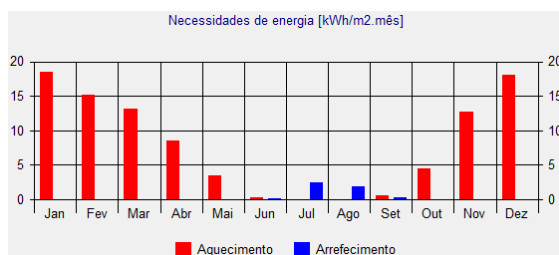
A base de dados climáticas utilizada é a do *Solterm* que contém anos meteorológicos de referência para 308 concelhos de Portugal.

#### 4.2.13. Resultados

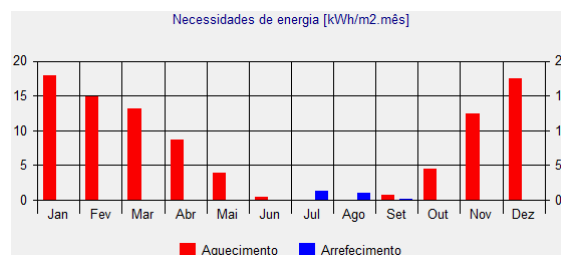
Através da capacidade da ferramenta *RCCTE-STE* é possível obter como resultados as necessidades térmicas do edifício, aquecimento e arrefecimento (Figura 4.9, Figura 4.10, Figura 4.11 e Figura 4.12), as potências do sistema de climatização (Tabela 4.4), o cálculo do IEE (Tabela 4.5) e a variação da temperatura do ar interior e exterior ao longo de todo o ano (Figura 4.13 e Figura 4.14). Assim poderemos comparar os resultados obtidos entre o funcionamento nominal e real do Museu.



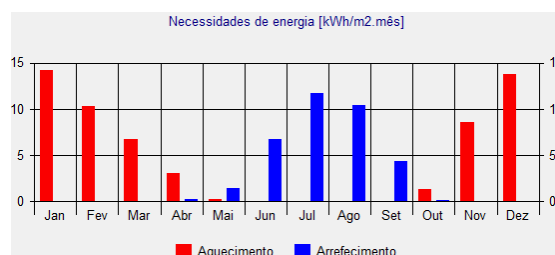
**Figura 4.9 – Necessidade de energia do Museu para o Caso 1 e 2.**



**Figura 4.10** – Necessidades de energia do espaço das Exposições (Caso 3).



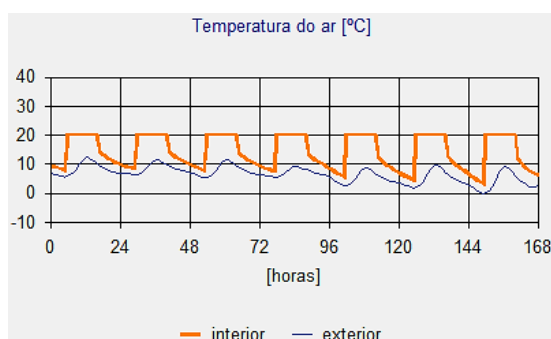
**Figura 4.11** – Necessidade de energia do espaço do Bar/Auditório (Caso 3).



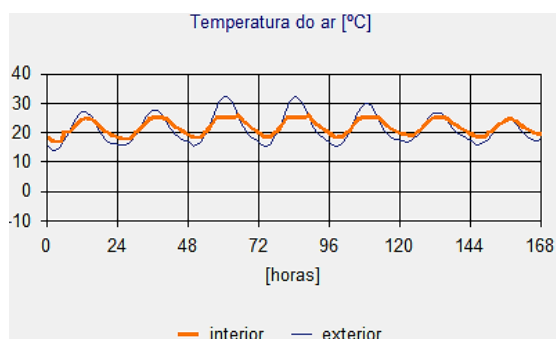
**Figura 4.12** – Necessidades de energia do espaço dos Escritórios (Caso 3).

**Tabela 4.4** – Síntese de resultados de potências do edifício.

Caso	Sistema	Potência instalada [kW]	Potência máxima a instalar [kW]	Potência nominal de simulação [kW]
<b>1</b>	Aquecimento	126,2	221,5	158,2
	Arrefecimento	93,2	70,5	50,4
<b>2</b>	Aquecimento	126,2	222,9	159,2
	Arrefecimento	93,2	92,3	65,9
<b>3</b>	Aquecimento	126,2	191,8	137,0
	Arrefecimento	93,2	115,9	82,8



**Figura 4.13** – Temperatura do ar (semana 3).



**Figura 4.14** – Temperatura de ar (semana 30).

**Tabela 4.5** – Quadro resumo do IEE.

<b>Caso</b>	<b>Tipologia</b>	<b>[kgep/m².ano]</b>	<b>Totais</b>
<b>1 e 2</b>	Museu	Aquecimento	3,6
		Arrefecimento	0,5
		Iluminação	9,1
		Equipamento	1,4
		AQS	0,8
		<b>IEE</b>	<b>15,3</b>
<b>3</b>	Exposições	<b>IEE<sub>ref</sub></b>	<b>15,0</b>
		Aquecimento	3,0
		Arrefecimento	0,4
		Iluminação	10,2
		Equipamento	1,4
		AQS	0,0
	Bar/Auditório	<b>IEE</b>	<b>15,0</b>
		<b>IEE<sub>ref</sub></b>	<b>15,0</b>
		Aquecimento	3,0
		Arrefecimento	0,2
		Iluminação	7,7
		Equipamento	1,4
	Escritórios	AQS	0,8
		<b>IEE</b>	<b>13,1</b>
		<b>IEE<sub>ref</sub></b>	<b>15,0</b>
		Aquecimento	1,9
		Arrefecimento	3,0
		Iluminação	7,7
		Equipamento	1,4
		AQS	0,0
	<b>Total</b>	<b>IEE</b>	<b>13,9</b>
		<b>IEE<sub>ref</sub></b>	<b>35,0</b>
		<b>IEE</b>	<b>14,3</b>
		<b>IEE<sub>ref</sub></b>	<b>17,7</b>

### 4.3. Simulação Cypeterm/EnergyPlus

O presente programa de cálculo automático tem por objectivo o cálculo e verificação de edifícios de modo a garantir condições de conforto térmico, isto sem necessidades excessivas de energia e com minimização das condensações superficiais no interior dos elementos da envolvente, tal como preconiza o regulamento.

### 4.3.1. Descrição do Edifício

O primeiro passo para a criação de uma obra é a descrição do edifício. Nesta fase são preenchidas as seguintes informações:

- Tipo de edifício: Local público;
- Distrito: Braga;
- Município: Terras de Bouro;
- Altitude: 640 m;
- Rugosidade: Periferia de uma zona urbana ou numa zona rural (II);
- Exposição ao vento: Região A;
- Plantas/Grupos: Cobertura e Rés-do-chão (desnível acima da rasante 0,1 m e altura do piso 3,61 m);
- Definição da orientação.

### 4.3.2. Elementos

De forma a economizar substancialmente o tempo em termos de introdução de dados, o programa contém uma biblioteca de materiais e elementos da publicação do LNEC – ITE50. Desta forma, ao introduzir os elementos que fazem parte da constituição de uma dada parede, é só preciso recorrer à biblioteca seleccionando a referência do material e inserir a sua espessura.

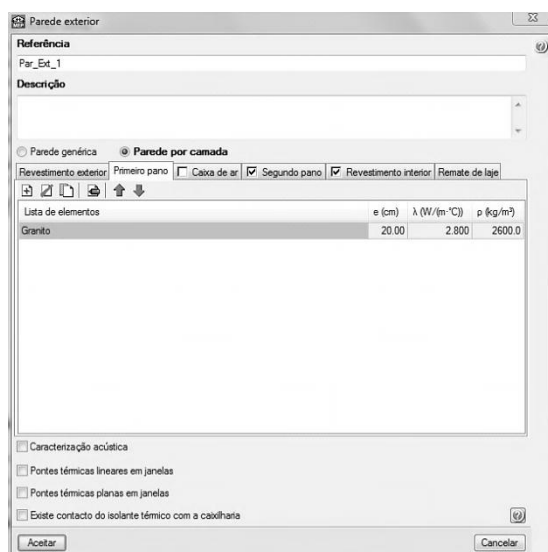


Figura 4.15 – Descrição da parede.

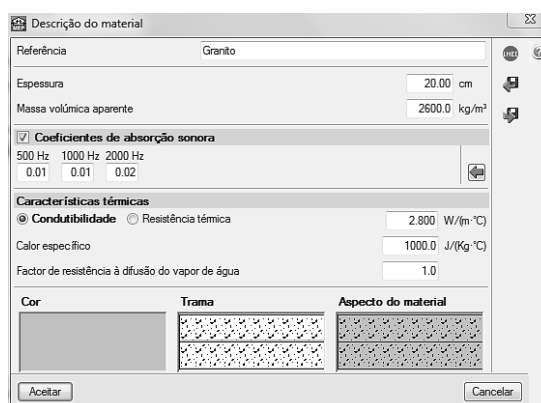
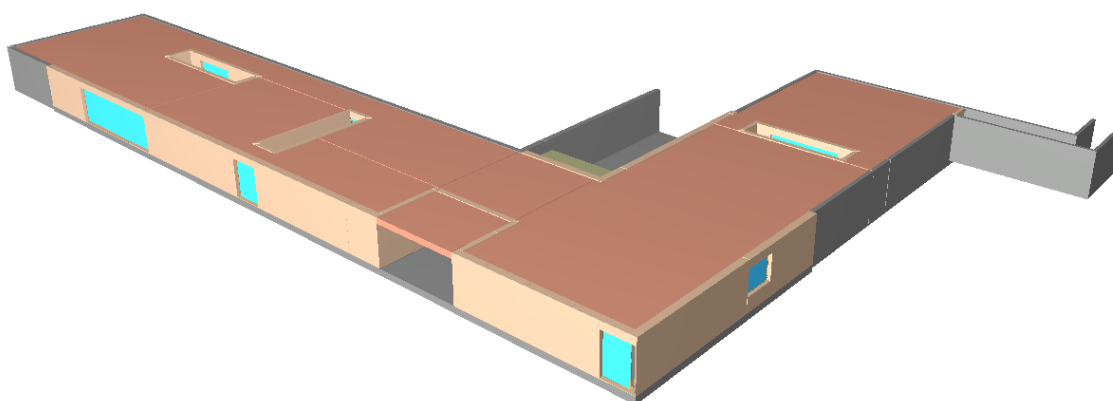


Figura 4.16 – Descrição do material.

Dando seguimento a este processo foram inseridas os seguintes elementos de construção, definidos anteriormente e presentes nas plantas do edifício:

- Muros e divisões:
  - Paredes exteriores;
  - Paredes interiores;
  - Muros de cave;
- Lajes:
  - Pavimento térreo;
  - Plana;
- Aberturas:
  - Envidraçados;
  - Porta.

Após a introdução dos elementos de construção poderemos observar o edifício em três dimensões (Figura 4.17).



**Figura 4.17** – Vista 3D do Museu.

### **4.3.3. Compartimentos**

Neste ponto, passa-se à definição dos tipos de compartimentos presentes neste piso. Define-se o revestimento das paredes, pavimentos e tectos, a descrição tipo e a referência. Os compartimentos encontram-se tipificados numa biblioteca, sendo possível gerir essa biblioteca, criando novos compartimentos e editando existentes.

Na descrição do compartimento é possível definir os parâmetros de projecto:

- Parâmetro de cálculo para o estudo térmico:
  - Habitável (todos os compartimentos);
  - Não habitável;
- Parâmetro de cálculo para o estudo climático:
  - Climatizado (Sala de exposições, arrumos, bar/cozinha, auditório, sala de informática, sala de conservação e sala de trabalho);
  - Apenas aquecido;
  - Não climatizado (wc's, vestiários e átrio);
- Condições:
  - Temperatura de verão (25 °C);
  - Temperatura de inverno (20 °C);
  - Humidade relativa (50 %);
- Ocupação:
  - Número de pessoas (definido dependendo do número total de pessoas respectivo a cada compartimento e definindo o tipo de actividade aí presente);
- Iluminação:
  - Potência (definido segundo a caracterização já apresentada anteriormente);
  - Tipo (fluorescente com reactância);
- Ventilação:
  - Por pessoa, m<sup>3</sup>/h;
  - Por unidade de superfície, m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>);
  - Verificar a renovação de ar (sim);
  - Retorno de ar (sim);
- Outras cargas:
  - Potência por superfície (definido segundo a caracterização já apresentada anteriormente).

Na edição dos compartimentos é ainda possível inserir actividades para o cálculo da necessidade (perfis nominais de utilização) e actividades para o cálculo de cargas (perfis reais de utilização). Os perfis médios reais utilizados encontram-se no **Anexo G**.

#### **4.3.4. Fracção autónoma**

O utilizador define as cargas internas da fracção, bem como os dias de utilização e necessidades de AQS. Assim foi definido que o Museu pertence ao tipo de edifício de serviços cuja utilização se cinge ao encerramento de um dia por semana, segunda-feira.

Os sistemas de aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias encontram-se já descritos de acordo com os valores tipificados no RCCTE. O utilizador pode editar estes valores. Os sistemas seleccionados foram a bomba de calor para aquecimento e arrefecimento.

Outro parâmetro a considerar é a ventilação onde permite definir se a ventilação é mecânica ou natural. Considerando a ventilação mecânica caracterizou-se o caudal de insuflação (19750 m<sup>3</sup>/h), o caudal de extracção (20550 m<sup>3</sup>/h) e a potência dos ventiladores (7276 W).

Na preparação de águas quentes sanitárias, define-se o valor da eficiência nominal do equipamento (0,95) e o factor de conversão (0,29 kgep/kWh). De lembrar que o equipamento optado é o termoacumulador eléctrico com pelo menos 100 mm de isolamento térmico. Permite considerar ainda se a rede de água quente é isolada ou não e introduzir o valor do consumo diário de água em utilização não residencial (200 l).

Por último descreve-se o sistema de colectores solares para a preparação de AQS onde a utilização do *Solterm* é obrigatória por lei para o cálculo da contribuição destes sistemas. Sobre esta temática permite considerar a existência ou não de um sistema solar de preparação AQS, introduzir uma descrição, definir tipologia (sistema colectivo com colectores comuns, depósito e apoio individuais), área de colectores (2,5 m<sup>2</sup>) e o valor da sua contribuição (1101 kWh/ano).

#### **4.3.5. Climatização**

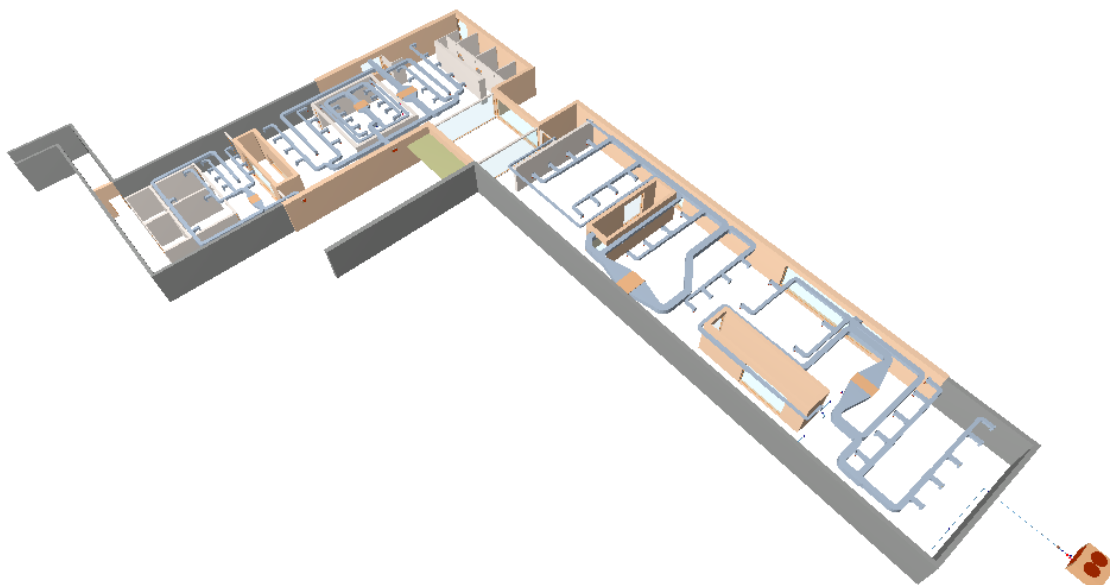
Permite a definição e introdução dos equipamentos (bombas de calor, ventiloconvectores, radiadores, etc.), de tubagens, condutas, difusores e radiadores entre outros. O programa faz o dimensionamento completo do sistema utilizando equipamentos principalmente de casas comerciais e utiliza o método das funções de transferência para o cálculo das cargas de arrefecimento, calculando a radiação, temperatura sol-ar e as perdas e ganhos ao longo do ano.

Para aquecimento simplifica-se o problema utilizando o momento mais desfavorável do dia de acordo com o descrito na norma *ASHRAE*, desprezando assim os ganhos internos e por radiação

solar, sem ter em conta o armazenamento de calor por inércia (perdas avaliadas instantaneamente).

Após o cálculo das cargas térmicas, *output* obtido através do cálculo automático do programa e ilustrado no **Anexo I**, seguiu-se a montagem da instalação dos equipamentos de climatização. Introduziu-se a unidade compacta água-ar-água bomba de calor de produção simultânea de água fria e água quente, sistema a 4 tubos, para instalação no exterior; as cinco climatizadoras de baixo perfil, a quatro tubos, com bateria de água fria e bateria de água quente nos diversos espaços já identificados anteriormente; ligou-se o sistema de condução de água provido de tubagens desde a bomba de calor até às UTA's, distribuição da água realizada por uma bomba de circulação; introduziu-se o sistema de condução de ar, criando condutas de impulsão de ar e de retorno de ar. Na impulsão de ar são criados ramais com grelhas de impulsão de forma a climatizar os diversos compartimentos e nas condutas de retorno de ar temos dois circuitos: um com grelha de entrada de ar respeitando os requisitos mínimos de ar novo no compartimento em questão e o segundo contendo as grelhas de retorno que recirculam o ar.

Após a sua montagem procede-se ao dimensionamento da instalação, verificando os requisitos mínimos quanto às cargas térmicas. Na seguinte figura observa-se a montagem dos equipamentos no Museu.



**Figura 4.18** – Vista 3D do sistema de climatização do Museu.



#### **4.3.6. Base de dados climáticos**

O *Cypeterm* não lê ficheiros climáticos do *Solterm* (.dat) pelo que teve que se efectuar uma conversão deste ficheiro para a extensão *EPW*, visto este utilizar o motor de simulação do *EnergyPlus*.

A solução encontrada foi a utilização do programa *EnergyPlus* que permite, após conversão para um formato de extensão *EPW*, a utilização directa dos dados climáticos obtidos através do *Solterm*, para o concelho em que o edifício se insere. Esta conversão é feita através do programa auxiliar *Weather Converter*. Desta forma utilizou-se a mesma base de dados para os dois programas, para uma melhor análise de resultados.

#### **4.3.7. Resultados**

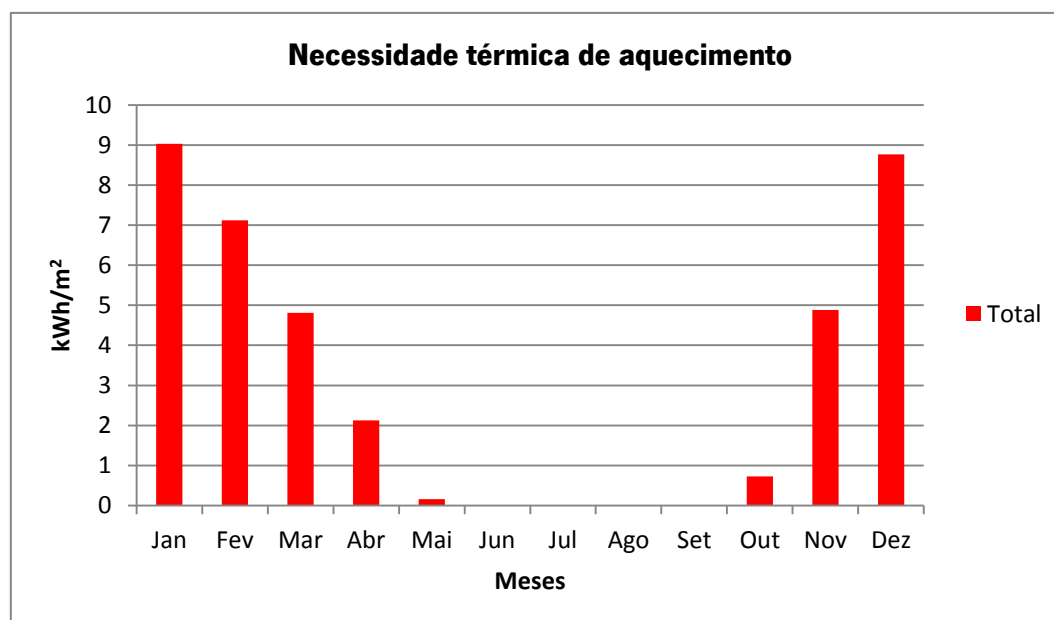
A exportação para o *EnergyPlus* aproveita os dados introduzidos nos módulos de Climatização e Cypeterm mediante a sua interface gráfica e evita o trabalho demorado que presume introduzir todos os dados de partida através de valores numéricos. A obtenção de resultados, após o cálculo com o *EnergyPlus*, sem necessidade de instalação independente, permite ao utilizador estudar os dados obtidos sem interferência de nenhum outro programa.

Uma vez realizado o cálculo, é possível visualizar no ecrã a percentagem da necessidade de aquecimento de todos os compartimentos climatizados do edifício para um dia seleccionado do ano (dia de inverno – 4 de Janeiro) e de arrefecimento para outro dia (dia de verão – 27 de Julho), com respeito ao dia do ano de maior necessidade de aquecimento ou de arrefecimento respectivamente. É ainda possível visualizar as necessidades de aquecimento e de arrefecimento mensal de todos os compartimentos do edifício.

Assim, de seguida, serão apresentadas as necessidades térmicas de aquecimento (Figura 4.19) e arrefecimento (Figura 4.20) do edifício.

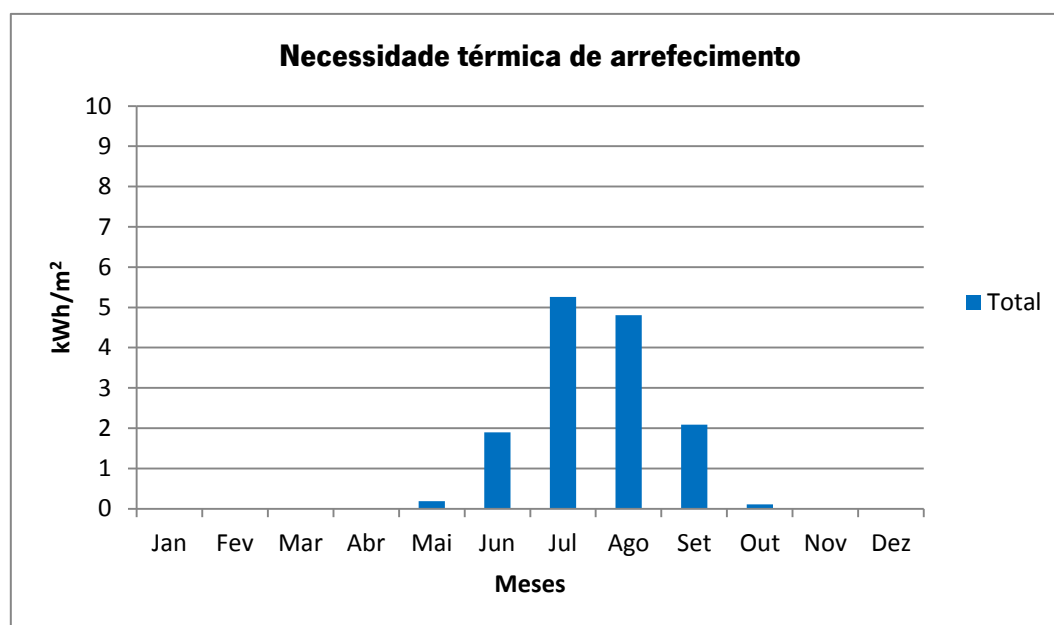
**Tabela 4.6** – Necessidades térmica de aquecimento do Museu.

Compartimento	Superfícies	Meses [kWh/m²]												Total
	[m²]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	[kWh/m²]
Espaço de Exposições	557,4	11,76	9,27	6,77	3,08	0,22	0	0	0	0,01	1,16	6,8	11,44	50,51
Arrumos	12,57	11,13	9,71	7,42	4,68	0,68	0,01	0	0	0	1,49	6,83	11,23	53,18
Bar/Cozinha	250,32	4,67	3,64	1,64	0,48	0	0	0	0	0	0	1,79	4,53	16,75
Auditório	61,2	18,15	14,26	9,28	4,21	0,45	0	0	0	0,01	1,17	9,28	17,21	74,02
Sala de trabalho	100,75	1,89	1,49	0,51	0,2	0	0	0	0	0	0,02	0,68	1,88	6,67
Sala de informática	20,13	0,55	0,5	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,52	1,63
Sala de conservação	14,89	0,75	0,65	0,02	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,69	2,21
<b>Total</b>	<b>1017,26</b>	<b>9,03</b>	<b>7,12</b>	<b>4,81</b>	<b>2,13</b>	<b>0,16</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,73</b>	<b>4,88</b>	<b>8,77</b>	<b>37,63</b>

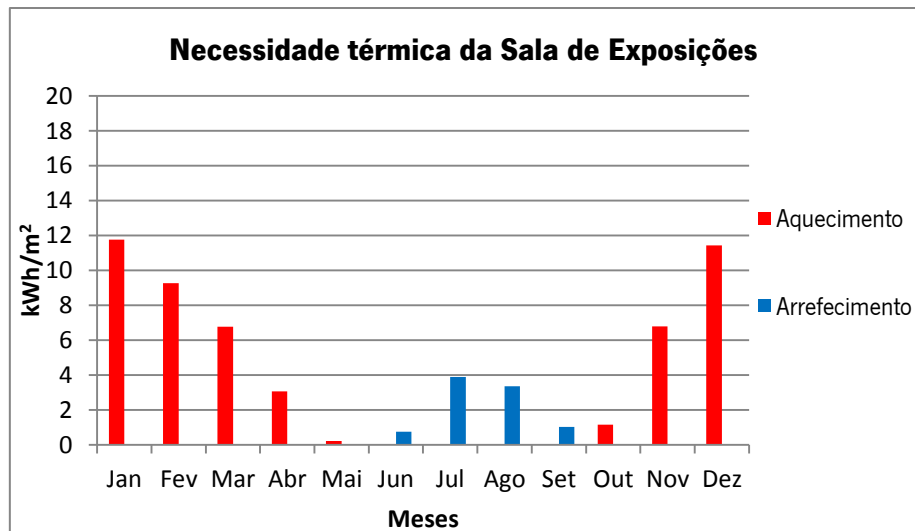
**Figura 4.19** – Necessidade térmica de aquecimento do Museu.

**Tabela 4.7** – Necessidades térmica de arrefecimento do Museu.

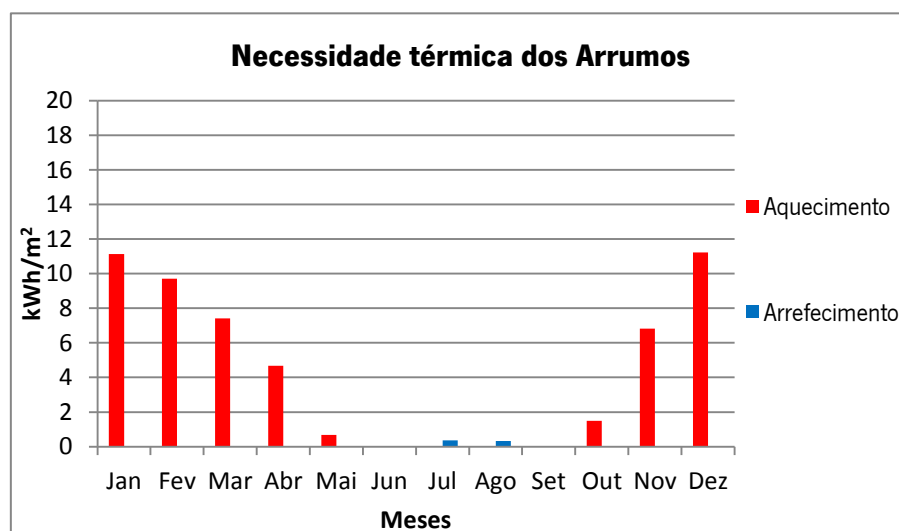
Compartimento	Superfícies	Meses [kWh/m²]												Total
	[m²]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	[kWh/m²]
Espaço de Exposições	557,4	0	0	0	0	0	0,76	3,9	3,37	1,04	0	0	0	9,07
Arrumos	12,57	0	0	0	0	0	0	0,36	0,33	0	0	0	0	0,69
Bar/Cozinha	250,32	0	0	0	0	0,26	2,79	5,79	5,43	2,58	0,1	0	0	16,95
Auditório	61,2	0	0	0	0,08	0,9	8,18	18,94	18,08	9,88	0,86	0,03	0	56,95
Sala de trabalho	100,75	0	0	0	0	0,25	1,79	3,42	3,25	1,56	0,05	0	0	10,32
Sala de informática	20,13	0	0	0	0,05	1,09	3,42	5,56	5,6	3,51	0,75	0	0	19,98
Sala de conservação	14,89	0	0	0	0,11	1,47	4,46	7,23	7,23	4,59	1,12	0,03	0	26,24
<b>Total</b>	<b>1017,26</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>	<b>0,19</b>	<b>1,9</b>	<b>5,26</b>	<b>4,81</b>	<b>2,09</b>	<b>0,11</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14,38</b>

**Figura 4.20** – Necessidade térmica de arrefecimento do Museu.

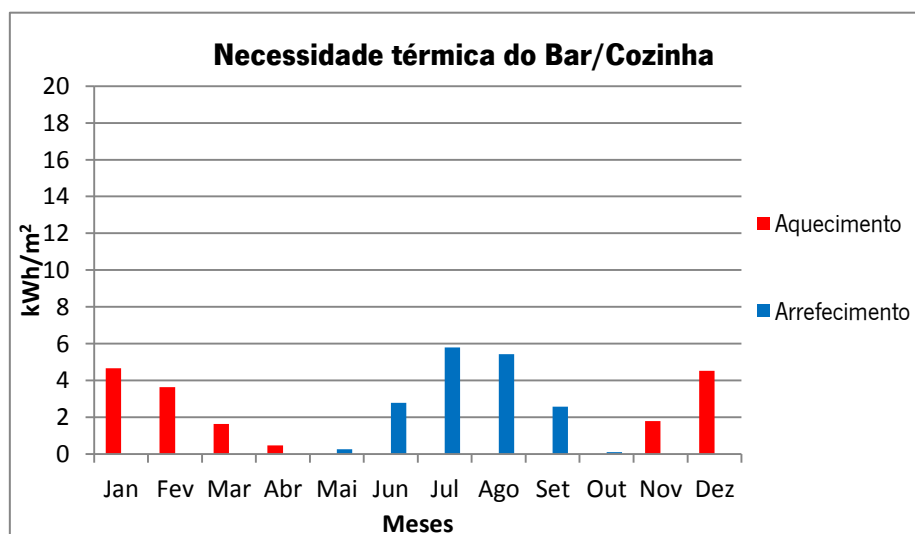
De seguida são apresentadas as contribuições de cada compartimento relativamente às necessidades térmicas.



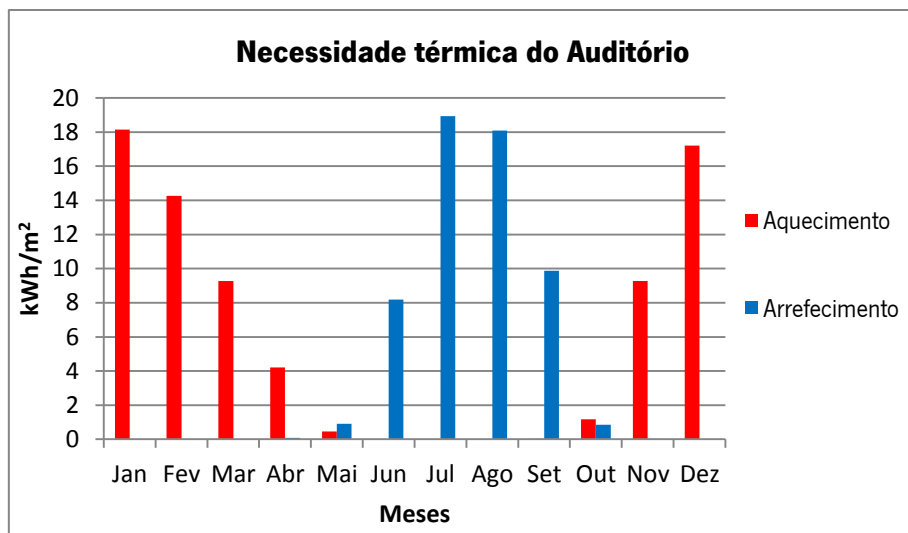
**Figura 4.21** – Necessidades térmicas da Sala de Exposições.



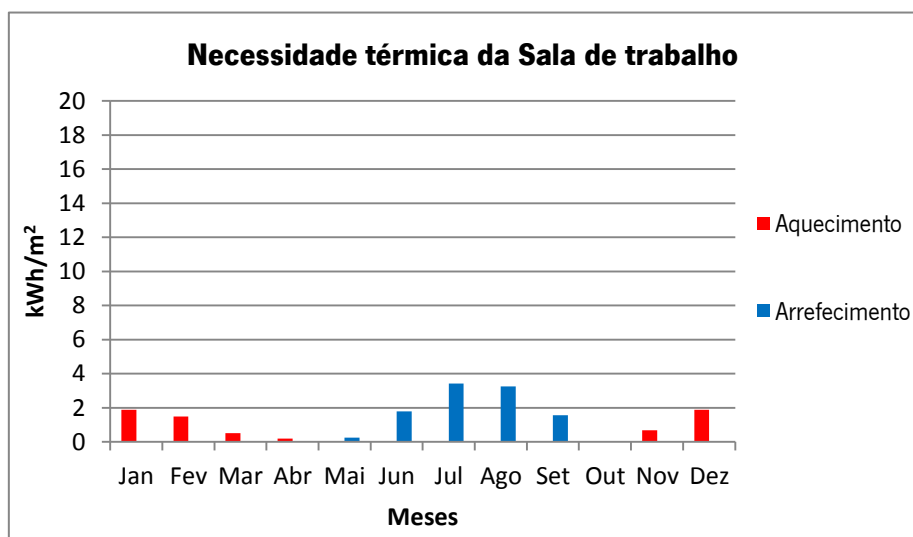
**Figura 4.22** – Necessidades térmicas dos Arrumos.



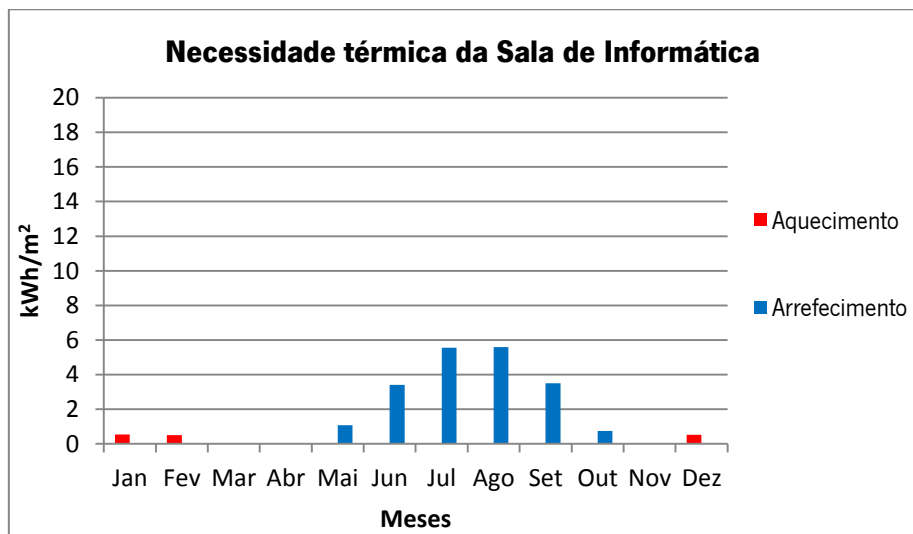
**Figura 4.23** – Necessidades térmicas do Bar/Cozinha.



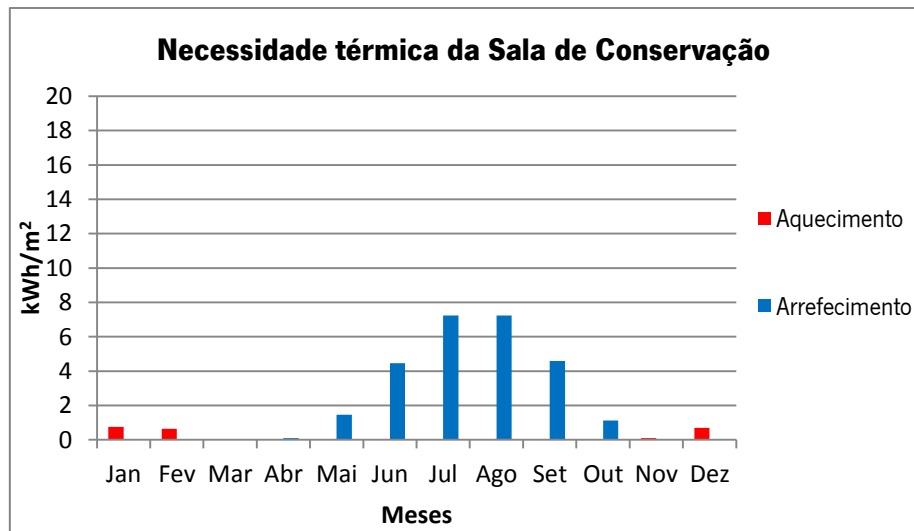
**Figura 4.24** – Necessidades térmicas do Auditório.



**Figura 4.25** – Necessidades térmicas da Sala de trabalho.



**Figura 4.26** – Necessidades térmicas da Sala de Informática.



**Figura 4.27** – Necessidades térmicas da Sala de conservação.

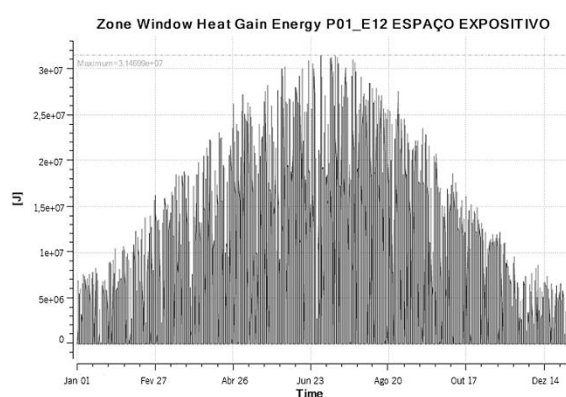
Da simulação dinâmica resulta um ficheiro *EPW* e um *ESO* (*EnergyPlus output file*), sendo o primeiro o ficheiro com os dados de entrada para se utilizar o *EnergyPlus* e o segundo um ficheiro de saída contendo os resultados da simulação dinâmica realizada. De forma a poder ler o ficheiro *ESO* utilizou-se o programa *xESoView* (versão 0.32), distribuído gratuitamente, visualizando os seguintes dados de saída:

- Variação da temperatura exterior;
- Variação dos ganhos internos latentes;
- Variação dos ganhos de calor devido aos ocupantes;
- Variação dos ganhos de calor devido à iluminação;
- Variação dos ganhos de calor devido ao equipamento;
- Variação dos ganhos de calor pelos vãos envidraçados;
- Variação das perdas de calor pelos vãos envidraçados;
- Variação dos ganhos de calor pelos vãos envidraçados;
- Variação dos ganhos de calor pela envolvente exterior;
- Variação das perdas de calor pela envolvente exterior;
- Variação da temperatura interior;
- Variação dos ganhos de calor pela renovação de ar;
- Variação das perdas de calor pela renovação de ar;

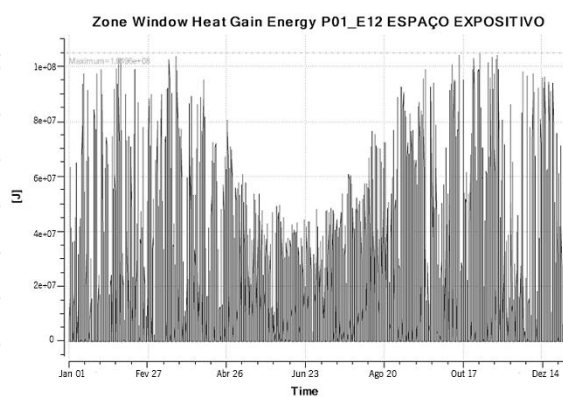
De forma a comparar resultados optou-se por estudar os ganhos e as perdas de calor pelos vãos envidraçados e pela envolvente exterior do Espaço de Exposições. O local possui dois

envidraçados, sendo um deles o maior envidraçado do edifício (Ve09 – 9,8m x 3,0 m) e inclui uma ampla envolvente exterior. Este é um factor importante tendo em atenção que a maioria das envolventes do edifício são soterradas, restando poucas envolventes exteriores expostas.

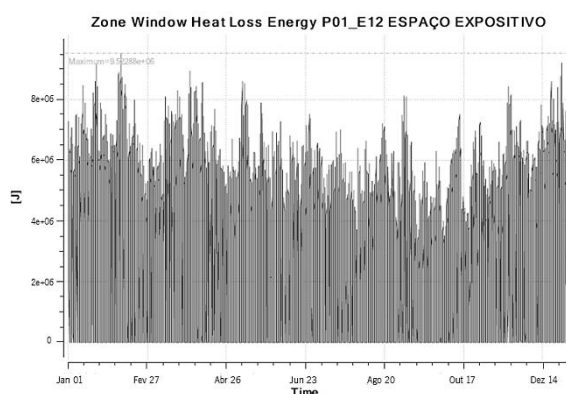
Na concepção do Museu, a principal fachada está virada a Norte, o que é um erro em termos energéticos. De maneira a comparar e a provar esta afirmação, modificou-se a orientação do edifício de modo a ter a principal fachada virada a Sul, pois receberá um maior nível de radiação solar do que fachadas noutras orientações, sendo que no Verão é uma fachada mais facilmente protegida dessa mesma radiação. As figuras seguintes exibem os resultados obtidos dos ganhos e perdas de calor pelas envolventes da Sala de Exposições.



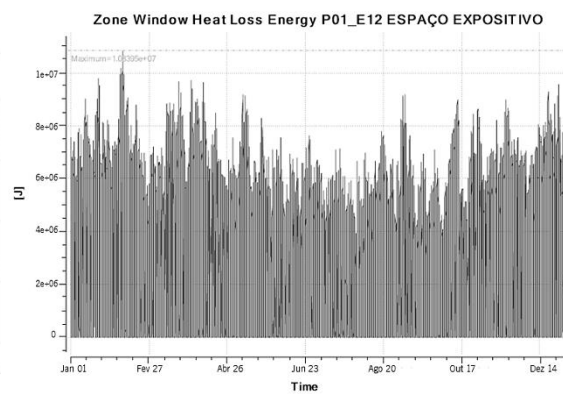
**Figura 4.28** – Ganhos de calor pelos vãos envidraçados do Espaço de Exposições (Norte).



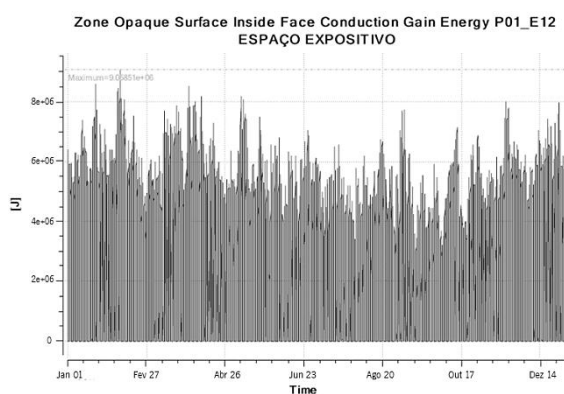
**Figura 4.29** – Ganhos de calor pelos vãos envidraçados do Espaço de Exposições (Sul).



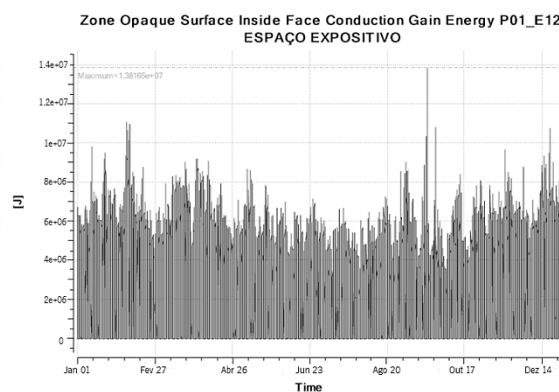
**Figura 4.30** – Perdas de calor pelos vãos envidraçados do Espaço de Exposições (Norte).



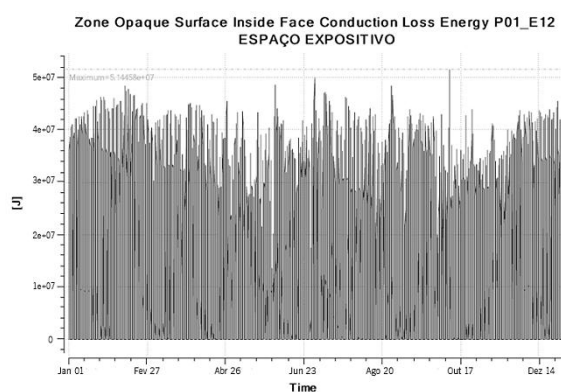
**Figura 4.31** – Perdas de calor pelos vãos envidraçados do Espaço de Exposições (Sul).



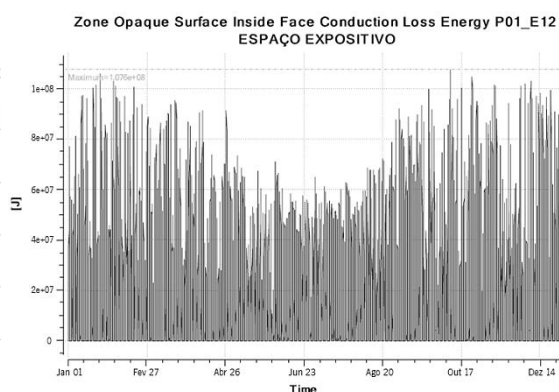
**Figura 4.32** – Ganhos de calor pela envoltente opaca do Espaço de Exposições (Norte).



**Figura 4.33** – Ganhos de calor pela envoltente opaca do Espaço de Exposições (Sul).



**Figura 4.34** – Perdas de calor pela envoltente opaca do Espaço de Exposições (Norte).



**Figura 4.35** – Perdas de calor pela envoltente opaca do Espaço de Exposições (Sul).

## 4.4. Comparação de resultados

Para comparar os resultados analisaremos os factores comuns que ambos os programas conseguem produzir: o IEE e as necessidades energéticas do edifício.

### 4.4.1. IEE

O IEE é o indicador de eficiência energética, ou seja, um valor indicativo do consumo energético por m<sup>2</sup> de um determinado espaço. Serve para verificar se o edifício cumpre com o requisito energético aplicável do RSECE, para edifícios de serviços, e para determinar a classe de desempenho no âmbito do SCE.



O IEE é calculado a partir dos consumos efectivos de energia de um edifício durante um ano, convertidos, utilizando os factores de conversão, para uma base de energia primária.

- Electricidade: 0,290 kgep/kWh;
- Combustíveis sólidos, líquidos e gasosos: 0,086 kgep/kWh.

O IEE é calculado pela seguinte equação:

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (5)$$

Em que,

- IEE – Indicador de eficiência energética (kgep/m².ano);
- IEE<sub>I</sub> – Indicador de eficiência energética de aquecimento (kgep/m².ano);
- IEE<sub>V</sub> – Indicador de eficiência energética de arrefecimento (kgep/m².ano);
- Q<sub>out</sub> – Consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento (kgep/ano);
- A<sub>p</sub> – Área útil de pavimento (m²).

Por sua vez:

$$IEE_I = \frac{Q_{aq}}{A_p} \times F_{CI} \quad (6) \quad \text{e} \quad IEE_V = \frac{Q_{arr}}{A_p} \times F_{CV} \quad (7)$$

Em que,

- Q<sub>aq</sub> – Consumo de energia de aquecimento (kgep/ano);
- F<sub>CI</sub> – Factor de correcção do consumo de energia de aquecimento;
- Q<sub>arr</sub> – Consumo de energia de arrefecimento (kgep/ano);
- F<sub>CV</sub> – Factor de correcção de consumo de energia de arrefecimento.

Para o cálculo dos factores de correcção de consumo de energia de aquecimento e arrefecimento (F<sub>CI</sub> e F<sub>CV</sub>), adopta-se, como região climática de referência, a região I1-V1 norte, 1000 graus-dia de aquecimento e 160 dias de duração da estação de aquecimento.

Assim a correcção da energia de aquecimento é expressa pela seguinte equação:

$$F_{CI} = \frac{N_{I1}}{N_{Ii}} \quad (8)$$

Em que,

- $N_{I1}$  – Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1 (kWh/m<sup>2</sup>.ano);
- $N_{Ii}$  – Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizada o edifício (kWh/m<sup>2</sup>.ano).

De relembrar que o factor de forma do Museu é 0,54 que será importante para o cálculo de  $N_{I1}$ .

A correcção da energia de arrefecimento é dada por:

$$F_{CV} = \frac{N_{V1}}{N_{Vi}} \quad (9)$$

Em que,

- $N_{V1}$  – Necessidades máximas de arrefecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1-V1 (kWh/m<sup>2</sup>.ano);
- $N_{Vi}$  – Necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizada o edifício (kWh/m<sup>2</sup>.ano).

Como o *Cypeterm* não calcula directamente o IEE é necessário efectuar o cálculo manualmente com base nos resultados obtidos no programa.

Da análise do RCCTE foram obtidos os seguintes dados:

**Tabela 4.8** – Dados provenientes do RCCTE, com ventilação mecânica.

<b>Ap</b>	<b>Taxa ren.</b>	<b>N<sub>ic</sub></b>	<b>N<sub>i</sub></b>	<b>N<sub>vc</sub></b>	<b>N<sub>v</sub></b>	<b>N<sub>ac</sub></b>	<b>N<sub>a</sub></b>	<b>N<sub>tc</sub></b>	<b>N<sub>t</sub></b>
(m <sup>2</sup> )	(RPH)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)	(kgep/m <sup>2</sup> .ano)	(kgep/m <sup>2</sup> .ano)
1081,92	7,0	449,3	103,7	20,5	18,0	2,2	4,7	4,1	1,7

Da análise dos consumos anuais temos:

**Tabela 4.9** – Consumos anuais.

<b>Uso de energia</b>	<b>Consumos (kWh.ano)</b>
Aquecimento	38285
Arrefecimento	14626
Iluminação	32998
Equipamento	9600
AQS	2348

Deste modo, substituindo a equação 5 pelos respectivos dados, obtemos:

$$\text{IEE} = \left( \frac{\left( \frac{38285}{4} \right) \times 0,29}{1081,92} \times \left( \frac{45,5}{103,7} \right) \right) + \left( \frac{\left( \frac{14626}{3} \right) \times 0,29}{1081,92} \times \left( \frac{16,0}{18,0} \right) \right) + \left( \frac{(32998 + 9600 + 2348) \times 0,29}{1081,92} \right) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \text{IEE} = 14,3 \frac{\text{kgep}}{\text{ano}} \cdot \text{m}^2$$

Após o cálculo do IEE é necessário saber as condições para determinar a classe energética do edifício, presentes na seguinte tabela.

**Tabela 4.10** – Classes energéticas para edifícios de serviços.

Classe energética	Condição a verificar
<b>A +</b>	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - (0,75 \times S)$
<b>A</b>	$IEE_{ref} - (0,75 \times S) < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - (0,5 \times S)$
<b>B</b>	$IEE_{ref} - (0,5 \times S) < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - (0,25 \times S)$
<b>B -</b>	$IEE_{ref} - (0,25 \times S) < IEE_{nom} \leq IEE_{ref}$
<b>C</b>	$IEE_{ref} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + (0,5 \times S)$
<b>D</b>	$IEE_{ref} + (0,5 \times S) < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + S$
<b>E</b>	$IEE_{ref} + S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + (1,5 \times S)$
<b>F</b>	$IEE_{ref} + (1,5 \times S) < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + (2,0 \times S)$
<b>G</b>	$IEE_{ref} + (2,0 \times S) < IEE_{nom}$

O factor S para Museus e Galerias é de 11 (Energia, 2012).

De seguida, são apresentados os valores calculados de IEE no *RCCTE-STE*, para os diferentes casos, e o valor calculado manualmente para o *Cypeterm*.

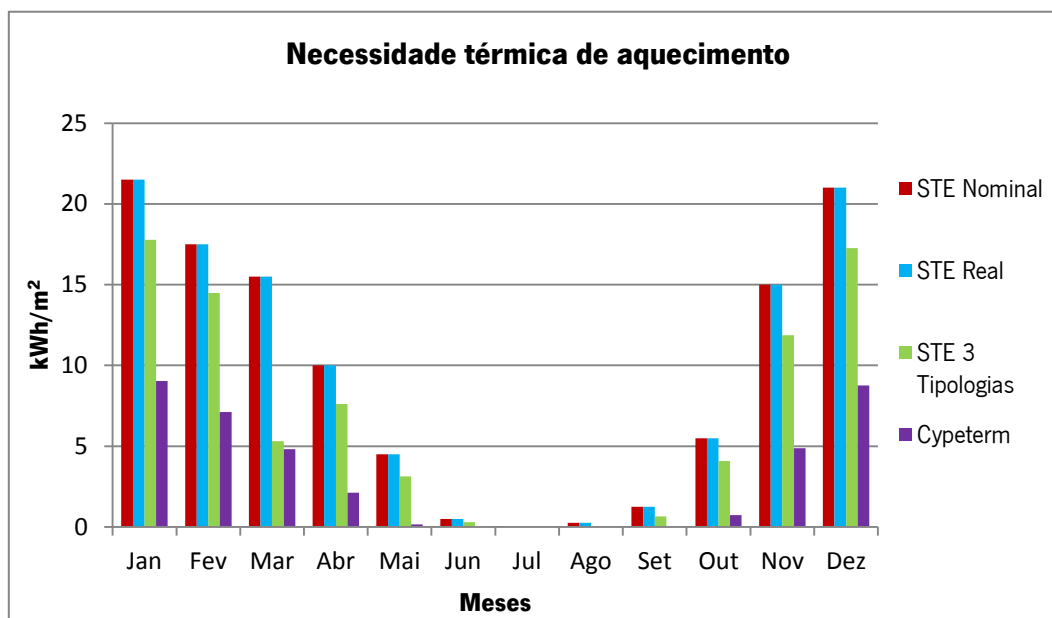
**Tabela 4.11** – Resultado do IEE e classe energética para os diferentes casos e programas.

Programa	Caso	IEEref (kgep/(m².ano))	IEE (kgep/(m².ano))	Classe energética
<b>RCCTE-STE</b>	1	15	15,3	C
	2	15	15,3	C
	3	17,7	14,3	B
<b>Cypeterm</b>	Museu	15	14,3	B -

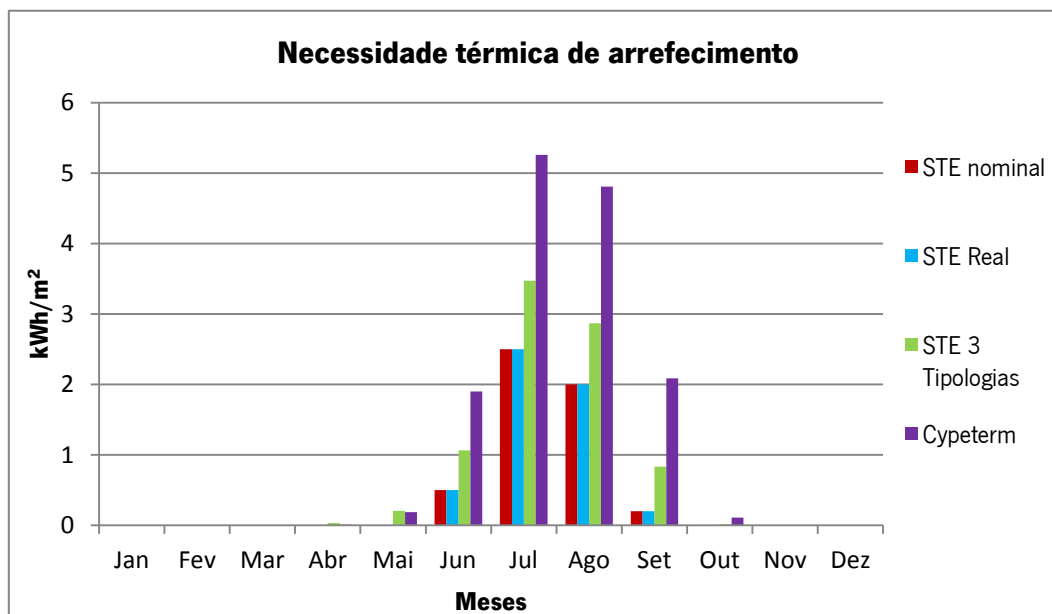


#### 4.4.2. Necessidades energéticas

Na Figura 4.36 e Figura 4.37 apresentam-se os valores comparativos das necessidades de térmicas de aquecimento e arrefecimento, respectivamente, dos vários casos e programas.



**Figura 4.36** – Comparação dos resultados obtidos sobre as necessidades térmicas de aquecimento.



**Figura 4.37** – Comparação dos resultados obtidos sobre as necessidades térmicas de arrefecimento.

## 4.5. Análise de resultados

Os valores dos índices de eficiência energética entre os vários casos e programas revelam-se relativamente próximos, embora no programa *Cypeterm* se afaste um pouco mais, todavia a classe energética é a mesma para todos os casos. Mais se indica que o edifício com a classe energética indicada não se encontra regulamentar.

Após análise do resumo de IEE aos vários casos, verifica-se que o grande factor do edifício ter obtido a classe energética C é devido à iluminação. Facilmente se chega a uma classe energética superior, e portanto regulamentar. De seguida são apresentadas duas soluções de forma o edifício atingir esse ponto:

- Solução 1: Reduzir a iluminação interior de forma atingir densidade de 9 W/m<sup>2</sup>;
- Solução 2: Reduzir a iluminação exterior para 800 W.

Verificamos que no Caso 1 (utilização de perfis nominais) e no Caso 2 (utilização de nominais com perfis reais) o IEE dá o mesmo valor pois estes utilizam os mesmos dados para os perfis nominais, diferindo somente nos perfis reais. Estas diferenças de valores nos perfis reais (perfis a serem definidos pelo utilizador) verificam-se nas potências de instalação do sistema de climatização. Estas, segundo o *RCCTE-STE*, encontram-se sobredimensionadas no caso da potência de arrefecimento e subdimensionada para a potência de aquecimento. No caso do *Cypeterm* o sistema de climatização cumpre com os requisitos térmicos a que o edifício está solicitado, visto que a potência nominal de simulação de aquecimento é de 108,7 kW e arrefecimento de 87,1 kW.

O sistema de climatização, pela percepção da Figura 4.13, liga sempre que o edifício esteja em funcionamento e se encontre abaixo da temperatura ideal (20 °C). Verifica-se que para a semana do ano de maior frio que o sistema de aquecimento está ligado sempre que esteja ocupado, mantendo a temperatura nos 20 °C.

Na Figura 4.14, podemos observar que quando a temperatura ultrapassa os 25 °C, numa semana de Verão, o sistema de arrefecimento é ligado para que não seja excedido essa referência (25 °C). Estas temperaturas referência estão relacionadas com temperaturas de conforto para os ocupantes.

Relativamente à comparação das necessidades térmicas os valores apresentados pelo *RCCTE-STE* diferem dos resultados apresentados pelo *Cypeterm*. Possivelmente esta diferença deve-se ao sistema de climatização e ventilação, pois verifica-se que as potências de aquecimento e arrefecimento diferem de um programa para o outro. Outro pormenor a ter em atenção são as infiltrações de ar. Mesmo com ventilação mecânica num edifício, a ventilação natural continua a estar presente, em maior ou menor grau, em função do desequilíbrio entre os caudais insuflados e extraídos mecanicamente. Para que a ventilação natural possa ser desprezada é necessário que a diferença entre esses caudais seja superior a  $0,25 \text{ h}^{-1}$ , considerando que o a exposição do edifício é 2 pois encontra-se na região B e apresenta rugosidade II. Essa diferença dividida pelo volume interior resulta em  $0,27 \text{ h}^{-1}$ , podendo então desprezar a ventilação natural. Note-se que o *RCCTE-STE* calcula as infiltrações de ar, utilizando portanto esses valores, enquanto o *Cypeterm* considera nulo.

Note-se nos resultados obtidos pelo *Cypeterm*, as contribuições de cada compartimento relativamente às necessidades térmicas do Museu, para o facto de Auditório ser o compartimento que necessite de mais necessidades de arrefecimento e aquecimento. Sendo um compartimento isolado, sem contacto com o exterior e não recebendo calor através dos raios solares, é necessário uma maior utilização do sistema de aquecimento de forma a atingir a temperatura de conforto. Por outro lado, durante o Verão, todo o calor que absorve derivado da sua ocupação, pouco se perde pelas paredes necessitando de uma maior utilização do sistema de arrefecimento.

No sentido oposto, encontram-se a Sala de trabalho, Sala de informática e Sala de conservação pois são os compartimentos que tem menos necessidades de arrefecimento e aquecimento. Este facto deve-se à envolvimento dos compartimentos, pois as paredes estão em contacto com o solo. Estas divisões possuem equipamentos que libertam calor, sendo benéfico no Inverno e mau no Verão, resultando em maiores necessidades de arrefecimento.

Outro motivo pela não regulamentação do edifício é relativo à sua orientação. A correcta orientação do edifício permite tirar partido do Sol, reduzindo as necessidades de climatização. No Inverno, as radiações solares permitem um aquecimento gratuito dos espaços. É por isso importante que a principal fachada do edifício esteja virada para Sul, com maior incidência solar. Por outro lado, a parte da casa virada a Norte, Nascente e Poente, deve contar com poucas

janelas, ou janelas de pequenas dimensões, para evitar a saída de calor no Inverno. No Verão, para evitar o sobreaquecimento convém proteger as janelas com protecções solares adequadas.

De forma a analisar este pormenor optou-se por estudar os ganhos e as perdas de calor pelos vãos envidraçados e pela envolvente exterior do Espaço de Exposições, perante a orientação Norte (projectada) e Sul. Da análise das Figuras 4.28 – 4.31 verifica-se que os ganhos solares através dos envidraçados, e segundo a orientação projectada, são maiores para os meses de Verão. Isto quer dizer que o edifício tem falhas pois no projecto de espaços envidraçados deverá ter em conta a localização do edifício e a sua orientação face ao sol, com vista à adopção de medidas que minimizem o sobreaquecimento dos espaços interiores com elevada exposição solar no Verão e, por outro lado, maximizar o aproveitamento da luz natural e do calor solar no Inverno.

Relativamente às paredes é importante utilizar um correcto isolamento das superfícies opacas de forma a permitir alcançar uma maior resistência térmica, minimizando as fugas de calor. Verificando as Figuras 4.32 – 4.35 verificam-se resultados muito idênticos mas mesmo assim apresentam maiores ganhos de calor no Inverno para a situação com a orientação a Sul.

Por curiosidade testou-se o mesmo edifício no *Cypeterm* mas com a orientação da principal fachada virada a Sul. De realçar que os consumos anuais de aquecimento passaram de 38285 kWh.ano (Norte) para 28751 kWh.ano. Isto traduziu-se numa passagem de IEE de 14,3 para 14,4 (calculado manualmente), o que quer dizer que uma medida de melhoria pode reduzir os custos energéticos mas pode não ser a mais adequada para a melhoria da eficiência energética.



## **5. CONCLUSÕES**



O primeiro objectivo do projecto consistiu na realização de uma revisão bibliográfica sobre programas de simulação dinâmica detalhada acreditados para o RSECE, avaliando as suas potencialidades de forma a seleccionar um deles e aplicando no caso de estudo. Neste aspecto foi tomado em conta a disponibilidade, a utilização dos programas em Portugal nos gabinetes de Engenharia, a capacidade de atribuir equipamentos reais aos que foram simulados no programa, os recursos que compõe os programas e o acompanhamento técnico da parte do seu representante de forma a esclarecer as dúvidas que se criem ao longo da utilização do programa. Da análise resultou na selecção do *Cypeterm* por todas as razões referidas, pelo crescimento que está a evidenciar no mercado português e por utilizar como motor de cálculo o *EnergyPlus* de modo a realizar a simulação térmica e energética do edifício podendo manipular a base de dados climáticos.

O segundo objectivo deste projecto pretendia-se realizar a simulação dinâmica detalhada de um grande edifício (área útil superior a 1000 m<sup>2</sup>) num programa de simulação dinâmica acreditado pela norma ASHRAE 140-2004, e comparar os resultados obtidos com o programa simulação dinâmica simplificada *RCCTE-STE*. O edifício seleccionado foi o Museu da Geira, em Terras de Bouro, sendo as informações inerentes ao processo da simulação fornecidos pelo António Alves, Engenheiro Civil e Mecânico pertencente à obra. Inicialmente o modelo do edifício utilizado foi criado e parametrizado no *Cypeterm*, devido a um processo de entrada de dados mais demorado. Posteriormente passou-se à sua implementação no *RCCTE-STE*, tentando utilizar os mesmos dados de entrada, sempre que as opções do programa o permitissem.

Os resultados obtidos através dos vários casos e programas foram analisados, tendo-se concluído que o *RCCTE-STE* é um programa prático, devido à facilidade de introdução de dados, servindo os seus preceitos no que toca ao dimensionamento de alguns tipos de sistemas de climatização, cálculo do índice de eficiência energética do edifício e é uma ferramenta útil para o estudo de potenciais medidas de melhoria. O *Cypeterm* demonstrou ser uma boa interface para o *EnergyPlus*, apresentando boas capacidades no dimensionamento de sistemas de climatização e na optimização do consumo energético do edifício, avaliando as perdas e condições térmicas de cada espaço.

A criação de um modelo para a simulação dinâmica e a sua adaptação à situação real nem sempre é bem conseguida, devido às ferramentas disponibilizadas ou à complexidade do caso de estudo e da correcta introdução dos dados. Um dos aspectos que influenciou a comparação

dos resultados destes dois programas, que se verifica na análise das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento do edifício, deve-se ao sistema de climatização e ventilação. Cada programa tem a seu processo de tratamento de dados, diferendo depois nos resultados. É preciso ter um maior cuidado a este nível.

No desenrolar do projecto observou-se que os consumos energéticos do edifício eram elevados, apresentando dois problemas: a iluminação e a orientação do edifício. Sendo a iluminação um problema de fácil resolução, a orientação do edifício é mais preocupante. Este apresenta a principal fachada virada a Norte, sendo um erro a nível energético, pois, no Inverno interessa promover os ganhos de radiação, pelo que se apresenta benéfica a abertura de vãos envidraçados virados a Sul. No Verão interessa restringir esses ganhos, pelo que é importante que os vãos tenham dispositivos sombreadores eficazes. Restringir a condução é também uma estratégia que, num clima temperado como o de Portugal, se deve promover nos edifícios para conseguir obter conforto no seu interior, tanto de Inverno como de Verão. Enquanto no Inverno interessa restringir perdas de calor para o exterior através da envolvente, no Verão torna-se mais favorável restringir os ganhos excessivos de calor exterior de forma a manter uma temperatura mais constante no interior dos edifícios. Estas alterações tornariam o Museu mais eficiente.

Por fim, num trabalho futuro é importante incidir e analisar os resultados da simulação dinâmica detalhada relativamente às perdas e ganhos de calor pelas envolventes e ter em atenção os consumos de energia dos edifícios.

## **6. FONTES BIBLIOGRÁFICAS**



- [1]** ADENE. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Agência para a Energia:  
<http://www.adene.pt>
- [2]** Adene. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Perguntas & Respostas sobre o RSECE-Energia: <http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Documents/PR%20RSECE%20Energia%20v2.0.pdf>
- [3]** aireacondicionado. (2012). Obtido em 25 de Abril de 2012, de Aire Acondicionado Split o Multi Split de Pared: <http://www.aireacondicionado.com/aire-acondicionado-split.html>
- [4]** Architectural Energy Corporation. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Order VisualDOE - New User:  
[http://www.archenergy.com/assets/files/VisualDOE/visualdoe\\_pricing.pdf](http://www.archenergy.com/assets/files/VisualDOE/visualdoe_pricing.pdf)
- [5]** Architectural Energy. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de VisualDOE:  
<http://www.archenergy.com/products/visualdoe>
- [6]** ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook - SI Units*. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.
- [7]** Birdsall, B., Buhl, W. F., Ellington, K. L., Erdem, A. E., & Winkelmann, F. C. (1990). *DOE-2*. Obtido em 5 de Maio de 2012, de Overview of the DOE-2 building energy analysis program: <http://gundog.lbl.gov/dirpubs/19735.pdf>
- [8]** CapturaIncreible. (18 de Maio de 2010). Obtido em 5 de Maio de 2012, de DesignBuilder: <http://capturaincreible.blogspot.pt/2010/05/mi-dia-dia-con-programas.html>
- [9]** Carapito, N. (14 de Janeiro de 2011). *scribd*. Obtido em 25 de Abril de 2012, de Sistemas de Climatização: <http://pt.scribd.com/doc/46857084/Sistemas-de-Climatizacao>
- [10]** CarrierHAP. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Hourly Analysis Program (HAP):  
[http://www.commercial.carrier.com/commercial/hvac/general/0,,CLI1\\_DIV12\\_ETI496\\_MID4355,00.html](http://www.commercial.carrier.com/commercial/hvac/general/0,,CLI1_DIV12_ETI496_MID4355,00.html)

- [11] Carvalho Araújo. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Museu da Geira:  
<http://www.carvalhoaraujo.com/pt/projectos/projectos/museu-da-geira.html>
- [12] Costa, F. d. (2012). *Desempenho energético de edifícios residenciais no contexto da regulamentação térmica com recurso ao EnergyPlus e TRNSYS*. Dissertação, Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- [13] Cypeterm. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Top Informática - Universidades:  
<http://www.topinformatica.pt/index.php?cat=34>
- [14] Decreto-Lei n.º 78/2006. (4 de Abril de 2006). *Diário da República, I-Série* (Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE)), pág. 2411-2412.
- [15] Decreto-Lei n.º 79/2006. (4 de Abril de 2006). *Diário da República, I-Série* (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE)).
- [16] Decreto-Lei n.º 80/2006. (4 de Abril de 2006). *Diário da República, I-Série* (Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE)).
- [17] Despacho n.º 11020/2009. (30 de Abril de 2009). *Diário da República*, pág. 17410.
- [18] Directiva n.º 2002/91/CE. (16 de Dezembro de 2002). *Parlamento Europeu* (desempenho energético dos edifícios).
- [19] DOE2. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de License to Use Software:  
<http://www.doe2.com/Download/Docs/DOE-21EEndUserLicense.pdf>
- [20] Energy Systems Research Unit. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de ESP-r overview: [http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r\\_overview.htm](http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm)
- [21] EnergyPlus. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de EnergyPlus:  
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- [22] ESP-r. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de GNU General Public License:  
<http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/GPL.htm>
- [23] Friclima. (2012). Obtido em 25 de Abril de 2012, de VRV (Volumen de Refrigerante Variable): <http://www.friclima.com/friclimate.vrv.html>



- [24] Gouveia, P. M. (2008). *Caracterização dos impactes da envolvente no desempenho térmico dos edifícios*. Dissertação, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- [25] HAP Carrier. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Carrier eDesign Suite Software License Agreement (USA):  
[http://www.docs.hvacpartners.com/idc/groups/public/documents/form/e20s-edesign\\_license\\_us.pdf](http://www.docs.hvacpartners.com/idc/groups/public/documents/form/e20s-edesign_license_us.pdf)
- [26] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (2006). *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. Lisboa: LNEC.
- [27] LNEG. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Programa RCCTE-STE:  
<http://www.lneg.pt/servicos/35/21>
- [28] McQuiston, J. S. (1992). *Cooling and Heating Load Calculation Manual*. ASHRAE.
- [29] Natural Works. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de DesignBuilder Software:  
<http://www.natural-works.com/db/>
- [30] Neymark, R. J. (1995). *International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- [31] Roriz, L. (2007). *Climatização - Conceção, Instalação e Condução de Sistemas* (2.<sup>a</sup> ed.). Amadora: Edições Orion.
- [32] Santos, B. H. (2009). *Estudo de correspondência entre soluções construtivas e tecnológicas de edifícios mistos e o desempenho energético em Portugal*. Dissertação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [33] Solius. (2012). Obtido em 25 de Abril de 2012, de Tecto Radiante:  
[http://www.solius.pt/sistemas\\_radiantes\\_tecto.php](http://www.solius.pt/sistemas_radiantes_tecto.php)
- [34] Stephenson, G. P. (1967). *Room Thermal Response Factors*. OTTAWA: ASHRAE.
- [35] Top Informática. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Cypevac 3D:  
<http://www.topinformatica.pt/index.php?cat=100&item=32111>

- [36]** Top Informática. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Sistema de climatização por ar condicionado - parte 2:  
<http://www.topinformatica.pt/index.php?op=9&catpai=53&itempai=464&cat=58&item=45053>
- [37]** TRANE. (2006). *TRACE™ 700 v6.0 Compliance with ANSI/ASHRAE Standard 140-2005*.
- [38]** Trane. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de Software Programs:  
<http://www.trane.com/commercial/Uploads/PDF/958/CDSorderform120508.pdf>
- [39]** TRNSYS. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de TRNSYS Pricing:  
<http://www.trnsys.com/order/pricing.php>
- [40]** U.S. Department of Energy. (2012). Obtido em 5 de Maio de 2012, de VisualDOE:  
[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/software.cfm/ID=59/package=alpha\\_list\\_sub](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=59/package=alpha_list_sub)
- [41]** Witte, R. H. (2004). *EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST)*.

## **ANEXO A – TIPO DE ENVOLVENTES**



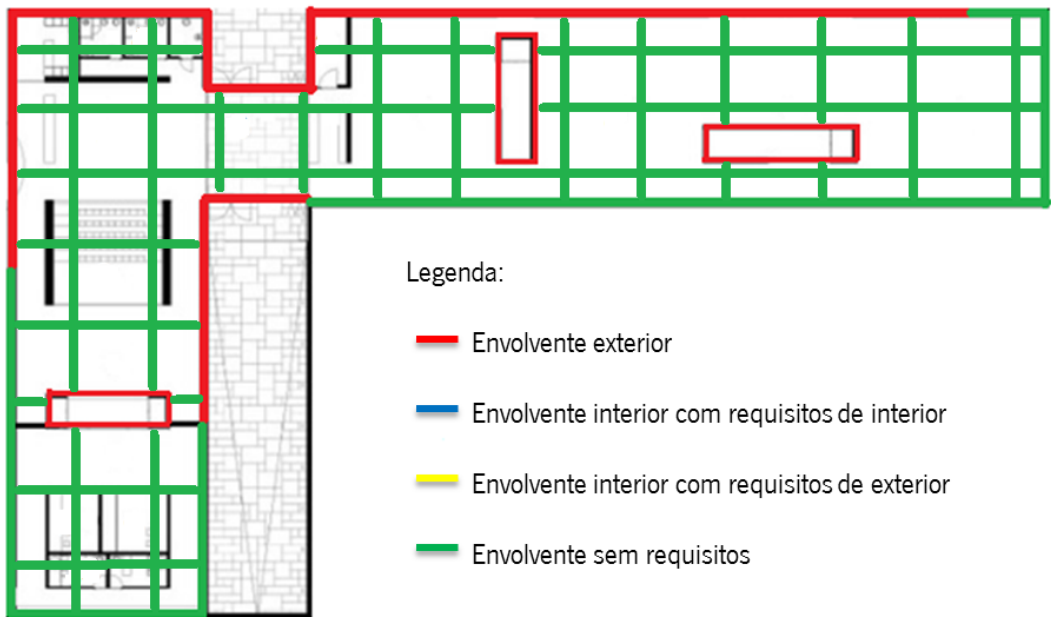


Figura A.1 – Delimitação da envoltura (Caso 1 e 2)



Figura A.2 – Delimitação da envoltura - corte transversal.

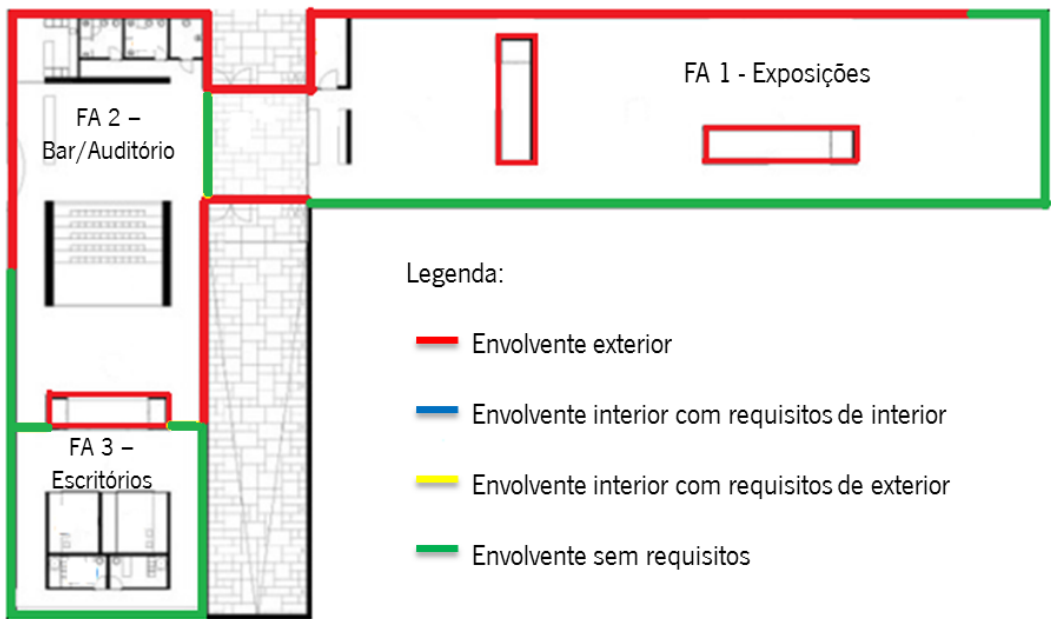


Figura A.3 – Delimitação da envoltura (Caso 3).



## **ANEXO B – INÉRCIA TÉRMICA**





**Tabela B.1** – Inércia térmica.

Elementos de Construção	Msi (Kg/m2)	Si (m2)	Factor de Correção - r	Msi*Si*r
<b>EL1 - Elementos da envolvente exterior, elementos de construção em contacto com outra fracção autónoma ou com espaços não úteis</b>				
<b>Envolvente exterior</b>				
<b>Paredes</b>				
Par_Ext_1	150,0	183,8	1,0	27568,5
Par_Ext_2	150,0	26,7	1,0	3997,5
Par_Ext_3	150,0	8,4	1,0	1260,0
Par_Ext_4	15,0	54,6	1,0	819,0
Par_Ext_5	15,0	81,4	1,0	1221,0
Par_Ext_6	12,4	2,1	1,0	26,3
<b>Coberturas</b>				
Cob_1	150,0	1030,8	0,0	0,0
Cob_2	150,0	51,5	0,0	0,0
<b>EL2 - Elementos em contacto com o solo</b>				
<b>Paredes</b>				
Par_Ext_Cave_1	150,0	123,9	1,0	18582,0
Par_Ext_Cave_2	150,0	188,8	1,0	28312,5
<b>Pavimentos</b>				
Laje_1	150,0	564,9	1,0	84732,0
Laje_2	150,0	51,5	1,0	7725,0
Laje_3	150,0	466,0	1,0	69894,0
<b>EL3 - Elementos interiores à fracção autónoma em estudo</b>				
<b>Paredes</b>				
Par_Int_1	300,0	52,0	1,0	15603,0
Par_Int_2	33,5	29,1	1,0	974,5
Par_Int_3	35,0	33,3	1,0	1165,2
Par_Int_6	300,0	14,5	1,0	4362,0
Par_Int_7	35,0	60,2	1,0	2107,0
<b>Total</b>	<b>268349,5</b>			

Área útil de pavimento

1081,92 m²

Massa superficial útil por m² de área de pavimento

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \times S_i}{A_p}$$

248,0 (kg/m²)

**Classificação:**

**2 - Inércia Média**



## **ANEXO C – LISTAGENS DO SOLTERM**



---

SolTerm 5.1

Licenciado a SANYO PORTUGAL S.A.

()

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

---

### **Campo de colectores**

---

Modelo de colector: Solius Silversol XL

1 módulos (2,5 m<sup>2</sup>)

Inclinação 45° - Azimute Sul

Coefficientes de perdas térmicas:  $a_1 = 4,162 \text{ W/m}^2/\text{K}$   $a_2 = 0,014 \text{ W/m}^2/\text{K}^2$

Rendimento óptico: 74,4%

Modificador de ângulo transversal: a 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° 45° 50°

1,00 1,00 0,99 0,99 0,98 0,97 0,96 0,95 0,94 0,92 0,90

55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° 90°

0,88 0,84 0,80 0,74 0,65 0,48 0,05 0,00

Modificador de ângulo longitudinal: a 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° 45° 50°

1,00 1,00 0,99 0,99 0,98 0,97 0,96 0,95 0,94 0,92 0,90

55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° 90°

0,88 0,84 0,80 0,74 0,65 0,48 0,05 0,00;

---

### **Permutador**

---

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 79,4 l/m<sup>2</sup> por hora (=0,06 l/s)

---

---

### **Depósito**

---

Modelo: típico 500 l

Volume: 500 l

Área externa: 2,70 m<sup>2</sup>

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coeficiente de perdas térmicas: 2,70 W/K

Um conjunto depósito/permutador

---

### **Tubagens**

---

Comprimento total: 14,0 m

Percurso no exterior: 3,5 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 19,0 mm

Espessura do tubo metálico: 1,5 mm

Espessura do isolamento: 30,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 W/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 W/m/K

---

---

**Carga térmica: segunda a sexta**

---

RCCTE - Serviços (313 dias)

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
19												
20												
21												
22												
23												
24												
diário	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86

---

**Carga térmica: fim-de-semana**


---

RCCTE - Serviços (313 dias)

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Perfis de consumo (l)

hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07												
08												
09												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
19												
20												
21												
22												
23												
24												
diário	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86

---



### Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Terras de Bouro

Coordenadas nominais: 41,7°N, 8,2°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM ( LNEG(2009) [www.lneg.pt](http://www.lneg.pt) [solterm.suporte@lneg.pt](mailto:solterm.suporte@lneg.pt))

Obstruções do horizonte: poR defeito

Orientação do painel: inclinação 45° - azimute 0°

### Balanço energético mensal e anual

	Rad.Horiz.	Rad.Inclin.	Desperdiçado	Fornecido	Carga	Apoio
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh
Janeiro	49	86	,	61	139	78
Fevereiro	67	106	,	66	126	59
Março	107	136	,	85	139	54
Abril	142	151	,	93	135	41
Maio	174	161	,	104	139	35
Junho	191	165	,	107	135	28
Julho	205	182	,	119	139	20
Agosto	186	187	,	126	139	13
Setembro	131	155	,	111	135	24
Outubro	93	138	,	93	139	46
Novembro	58	101	,	70	135	65
Dezembro	45	91	,	64	139	75
Anual	1446	1658	,	1101	1638	537

Fracção solar: 67,2%

Rendimento global anual do sistema: 26%      Produtividade: 433 kWh/[m<sup>2</sup> colector]

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

SANYO PORTUGAL S.A.() | 18-10-2012 14:40:41 |

## **ANEXO D – CAUDAL MÍNIMO DE AR NOVO**



**Tabela D.1** – Verificação do caudal mínimo de ar novo (nominal).

VERIFICAÇÃO CAUDAL MÍNIMO AR NOVO – Valores Nominais (para cálculo IEE)										
Tipo de actividade	Área m²	Ocup.	Caudais regulam. mínimos de ar novo		Caudal bruto RSECE Ocup.	Caudal bruto RSECE Área	Caudal mínimo regulam.	Efic.	Caudal efectivo m³/h	Caudal inst. Proj. m³/h
			m³/(h.ocu pante)	m³/(h.m²)			m³/h			
Sala de Exposições	554,1	13	30	15	390	8312	8312	0,8	10389	8312
Arrumos	10,8	1	-	5	0	54	54	0,8	68	68
Bar / Cozinha	243	48	30	-	1440	0	1440	0,8	1800	1875
Auditório	51,6	25	30	-	750	0	750	0,8	938	2250
Sala de trabalho	98,9	6	30	-	180	0	180	0,8	225	375
Sala de conservação	14	1	30	-	30	0	30	0,8	38	150
Sala de informática	18,3	1	30	-	30	0	30	0,8	38	150

**Nota 1:**

*Caudal bruto RSECE Ocupação = Ocupação × Caudal regulamentar mínimo de ar novo*

**Nota 2:**

*Caudal bruto RSECE Área = Área × Caudal regulamentar mínimo de ar novo*

**Nota 3:**

*Caudal mínimo regulamentar = maior dos caudais brutos*

**Nota 4:**

*Caudal efectivo =  $\frac{\text{Caudal mínimo regulamentar}}{\text{eficiência}}$*

**Tabela D.2** – Verificação do caudal mínimo de ar novo (real).

<b>VERIFICAÇÃO CAUDAL MÍNIMO AR NOVO – Valores Reais (para cálculo potência máxima)</b>										
Tipo de actividade	Área	Ocup.	Caudais regulam. mínimos de ar novo		Caudal bruto	Caudal bruto	Caudal mínimo regulam.	Efic.	Caudal efectivo	Caudal inst. Proj.
	m²		m³/(h.ocupante)	m³/(h.m²)	RSECE Ocup.	RSECE Área	m³/h		m³/h	m³/h
<b>Sala de Exposições</b>	554,1	80	30	15	2400	8312	<b>8312</b>	0,8	10389	<b>8312</b>
<b>Arrumos</b>	10,8	1	-	5	0	54	<b>54</b>	0,8	68	<b>68</b>
<b>Bar / Cozinha</b>	243	50	30	-	1500	0	<b>1500</b>	0,8	1875	<b>1875</b>
<b>Auditório</b>	51,6	52	30	-	1560	0	<b>1560</b>	0,8	1950	<b>2250</b>
<b>Sala de trabalho</b>	98,9	10	30	-	300	0	<b>300</b>	0,8	375	<b>375</b>
<b>Sala de conservação</b>	14	3	30	-	90	0	<b>90</b>	0,8	113	<b>150</b>
<b>Sala de informática</b>	18,3	3	30	-	90	0	<b>90</b>	0,8	113	<b>150</b>

## **ANEXO E – PERFIS NOMINAIS**

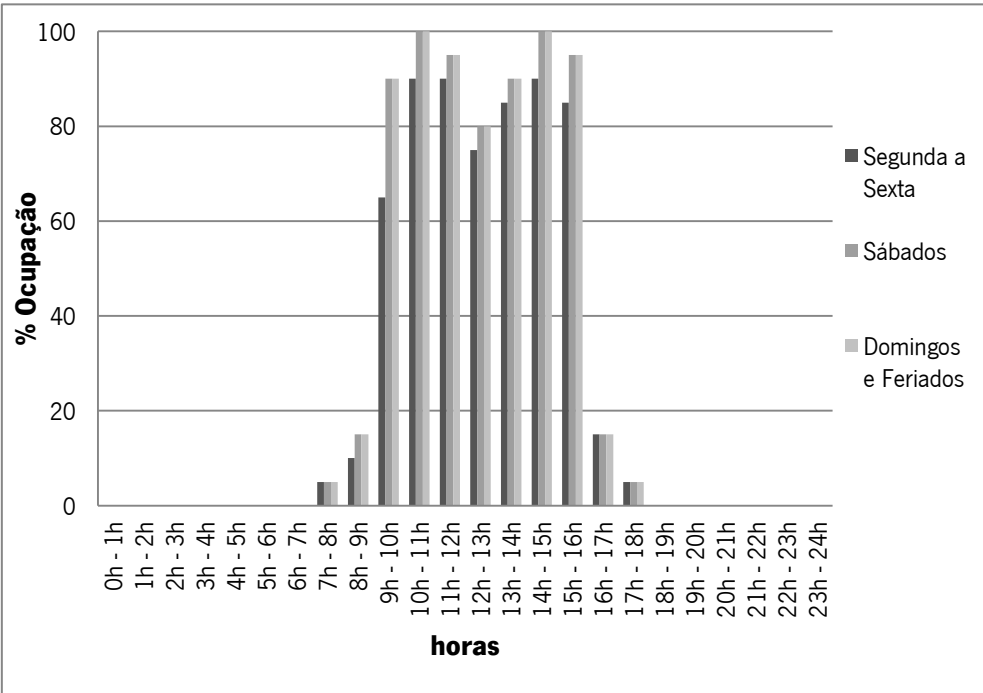




**Ocupação**

**Tabela E.1** – Perfil nominal ocupação.

horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados	horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h - 1h	0	0	0	12h - 13h	75	80	80
1h - 2h	0	0	0	13h - 14h	85	90	90
2h - 3h	0	0	0	14h - 15h	90	100	100
3h - 4h	0	0	0	15h - 16h	85	95	95
4h - 5h	0	0	0	16h - 17h	15	15	15
5h - 6h	0	0	0	17h - 18h	5	5	5
6h - 7h	0	0	0	18h - 19h	0	0	0
7h - 8h	5	5	5	19h - 20h	0	0	0
8h - 9h	10	15	15	20h - 21h	0	0	0
9h - 10h	65	90	90	21h - 22h	0	0	0
10h - 11h	90	100	100	22h - 23h	0	0	0
11h - 12h	90	95	95	23h - 24h	0	0	0

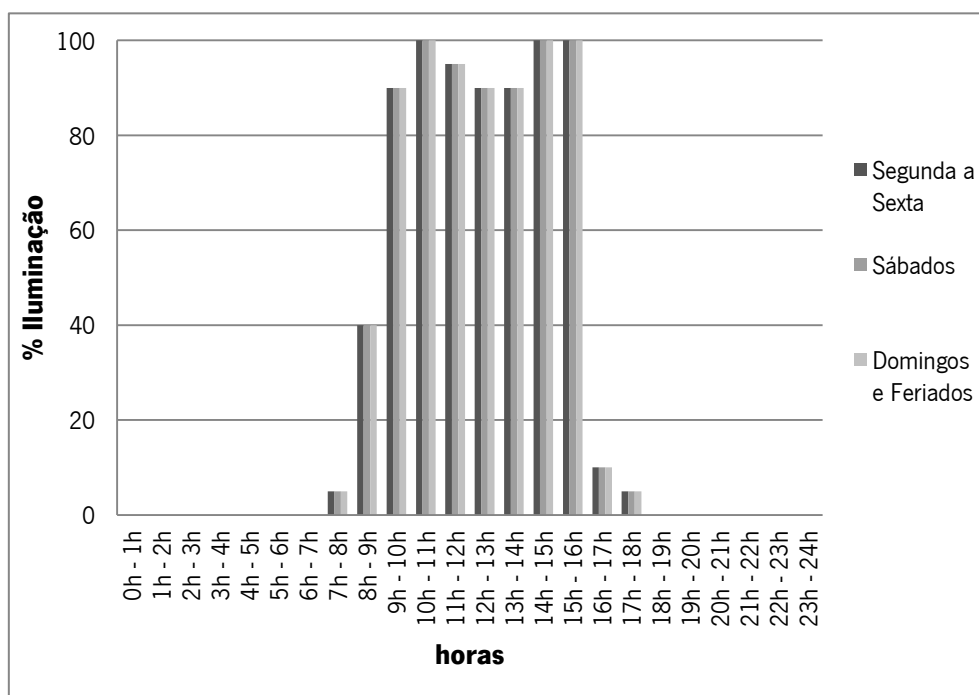


**Figura E.1** – Perfil nominal ocupação.

## **Iluminação**

**Tabela E.2** – Perfil nominal iluminação.

horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados	horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h - 1h	0	0	0	12h - 13h	90	90	90
1h - 2h	0	0	0	13h - 14h	90	90	90
2h - 3h	0	0	0	14h - 15h	100	100	100
3h - 4h	0	0	0	15h - 16h	100	100	100
4h - 5h	0	0	0	16h - 17h	10	10	10
5h - 6h	0	0	0	17h - 18h	5	5	5
6h - 7h	0	0	0	18h - 19h	0	0	0
7h - 8h	5	5	5	19h - 20h	0	0	0
8h - 9h	40	40	40	20h - 21h	0	0	0
9h - 10h	90	90	90	21h - 22h	0	0	0
10h - 11h	100	100	100	22h - 23h	0	0	0
11h - 12h	95	95	95	23h - 24h	0	0	0

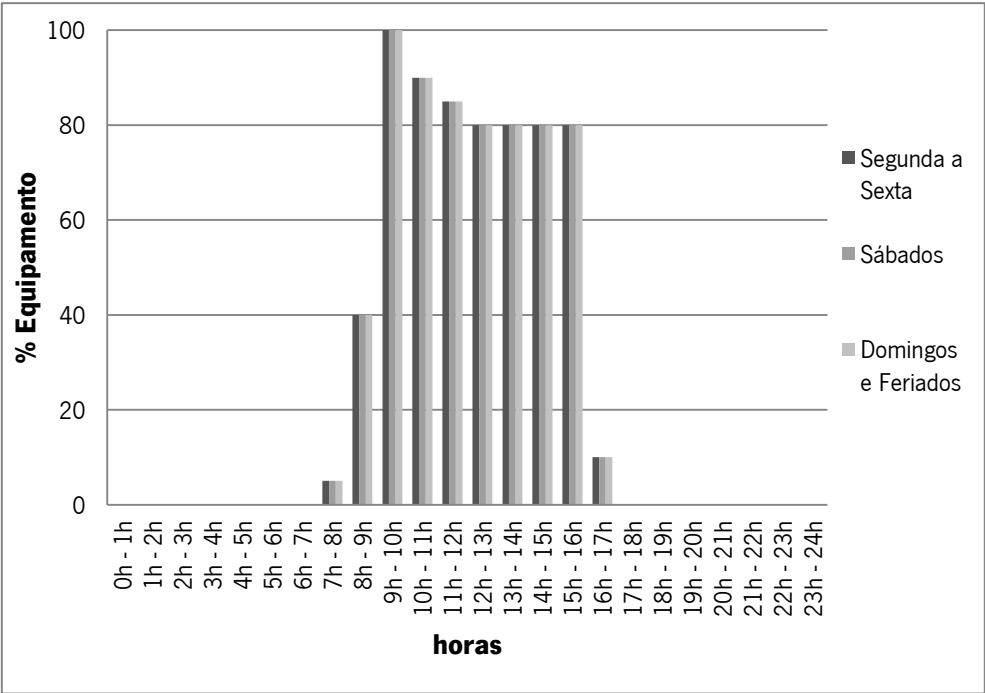


**Figura E.2** – Perfil nominal iluminação.

**Equipamento**

**Tabela E.3** – Perfil nominal equipamento.

horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados	horas	Segunda a Sexta	Sábados	Domingos e Feriados
0h - 1h	0	0	0	12h - 13h	80	80	80
1h - 2h	0	0	0	13h - 14h	80	80	80
2h - 3h	0	0	0	14h - 15h	80	80	80
3h - 4h	0	0	0	15h - 16h	80	80	80
4h - 5h	0	0	0	16h - 17h	10	10	10
5h - 6h	0	0	0	17h - 18h	0	0	0
6h - 7h	0	0	0	18h - 19h	0	0	0
7h - 8h	5	5	5	19h - 20h	0	0	0
8h - 9h	40	40	40	20h - 21h	0	0	0
9h - 10h	100	100	100	21h - 22h	0	0	0
10h - 11h	90	90	90	22h - 23h	0	0	0
11h - 12h	85	85	85	23h - 24h	0	0	0



**Figura E.3** – Perfil nominal equipamento.



## **ANEXO F – PERFIS REAIS**



**Notas introdutórias:**

1 – Para os compartimentos da Sala de Exposições e Arrumos foi utilizado o perfil de Museus e Galerias com uma ligeira afectação durante a semana. Devido a este espaço ser utilizado mais ao fim-de-semana alterou-se os perfis de forma a aumentar a sua utilização ao fim-de-semana e a diminuir durante os dias laborais. Assim a sua afectação teve por base o caudal de ar novo inserido nesses espaços, representando 64% do edifício. Assim procedeu-se à alteração dos valores nominais:

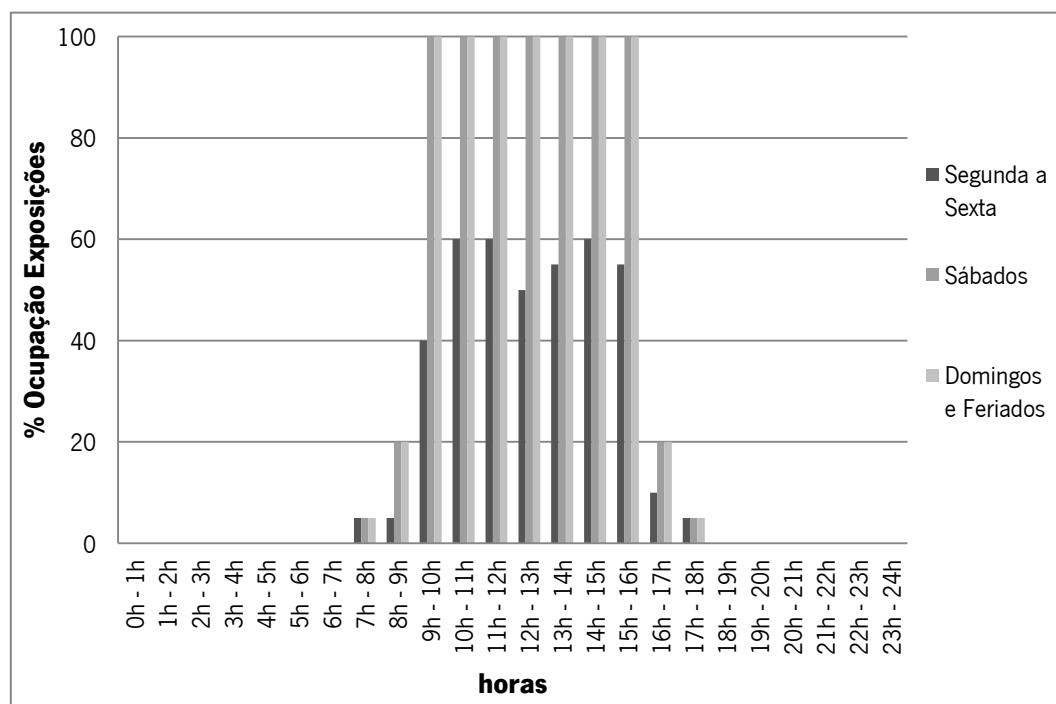
- Segunda a Sexta:  $[\text{Valor nominal}] \times 0,64$ ;
- Fim-de-semana e feriados:  $[\text{Valor nominal}] \times 1,36$ .

2 – Para os compartimentos do Bar/Cozinha e do Auditório utilizaram-se perfis normais de Museus e Galerias.

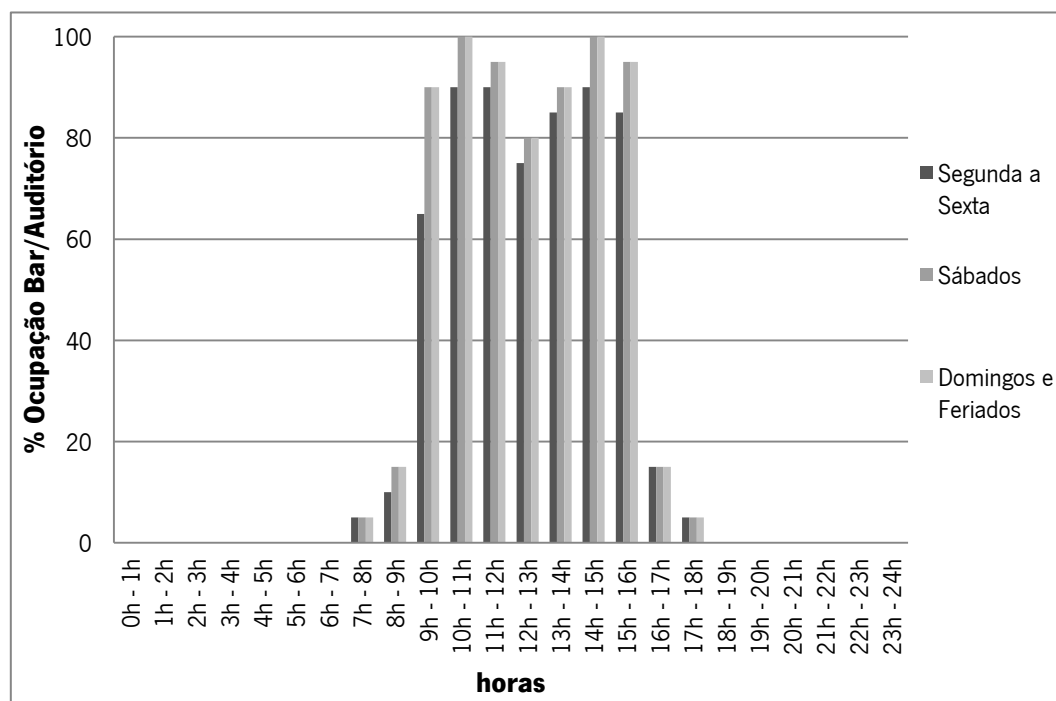
3 – Para os compartimentos da Sala de trabalho, Sala de conservação e Sala de informática utilizaram-se perfis de Escritórios.

4 – No fim realizou-se a média ponderada dos três perfis utilizados anteriormente.

## Ocupação



**Figura F.1** – Perfil real de ocupação na Sala de Exposições.



**Figura F.2** – Perfil real de ocupação no Bar/auditório.



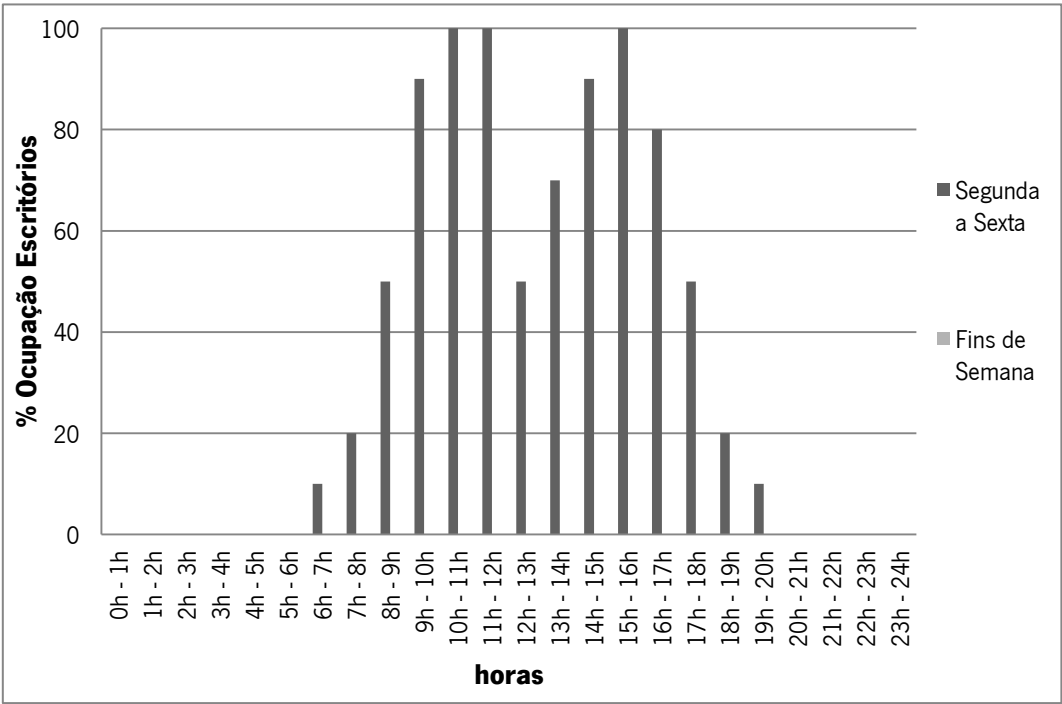


Figura F.3 – Perfil real de ocupação dos Escritórios.

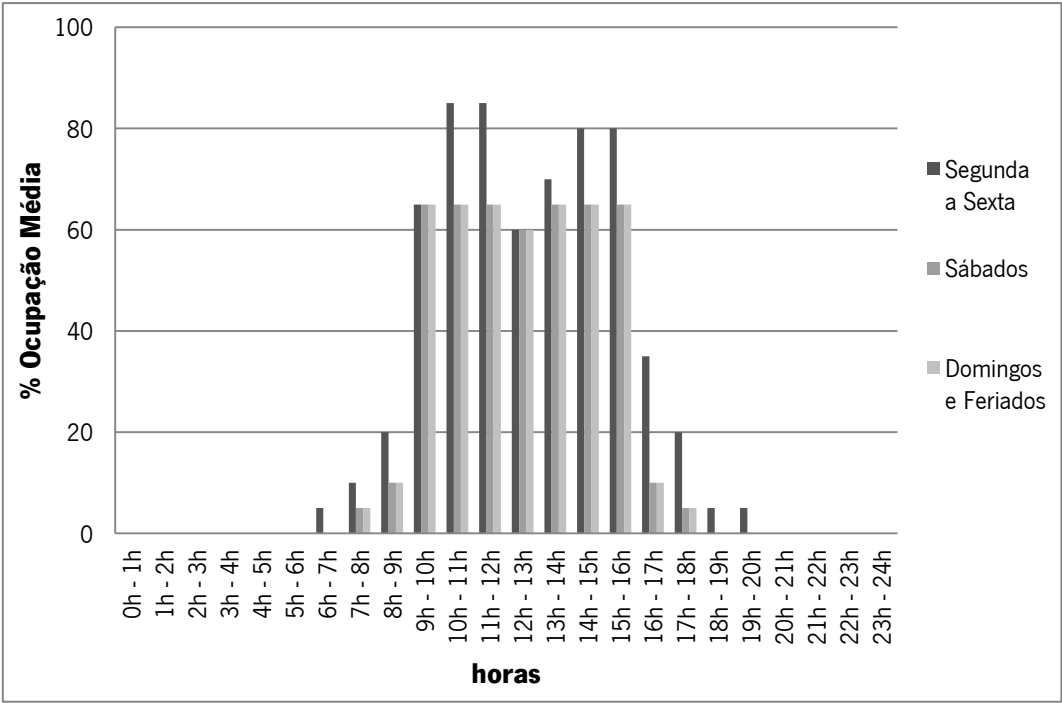
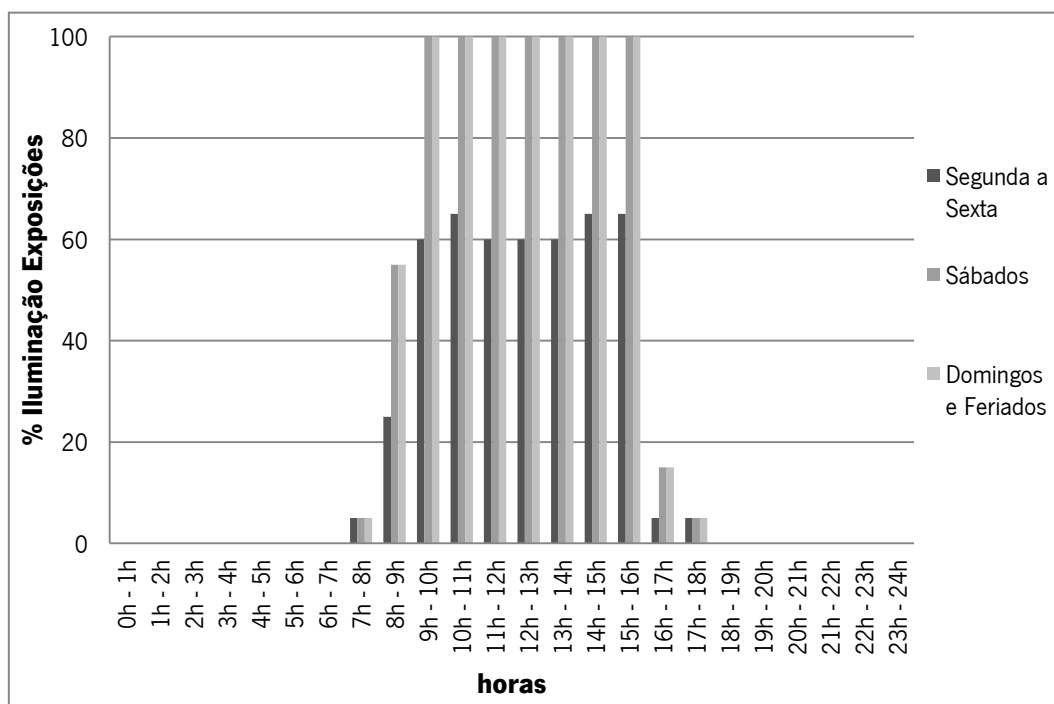
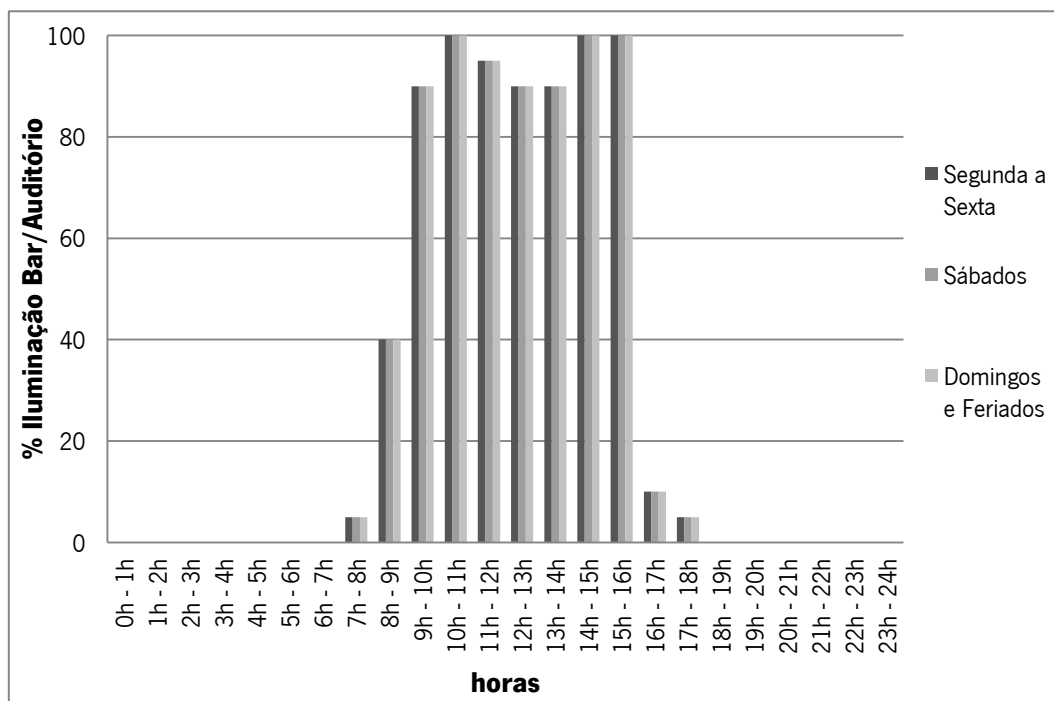


Figura F.4 – Perfil real médio de ocupação do Museu.

## **Iluminação**



**Figura F.5** – Perfil real de iluminação da Sala de Exposições.



**Figura F.6** – Perfil real de iluminação do Bar/Auditório.

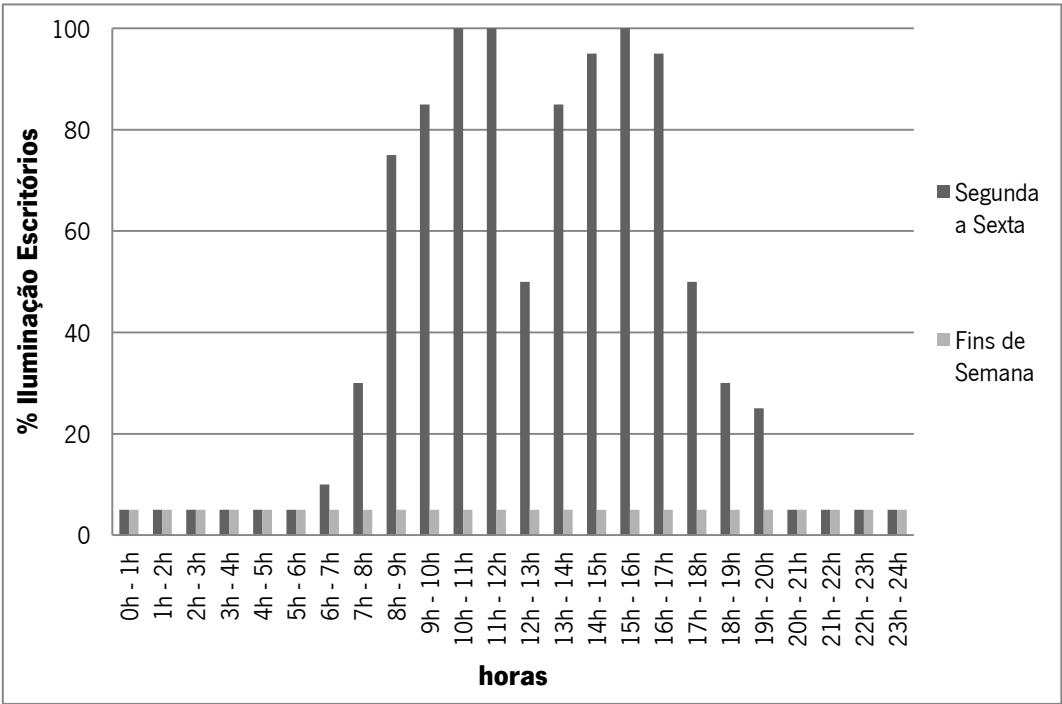


Figura F.7 – Perfil real de iluminação dos Escritórios.

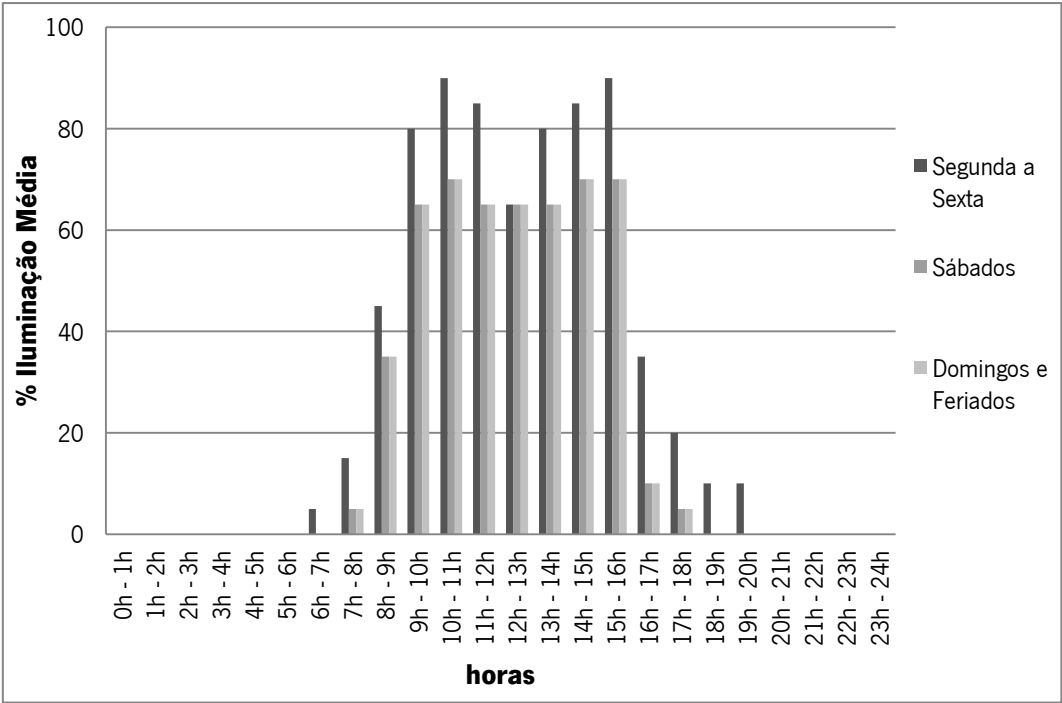


Figura F.8 – Perfil real de iluminação média do Museu.

## Equipamento

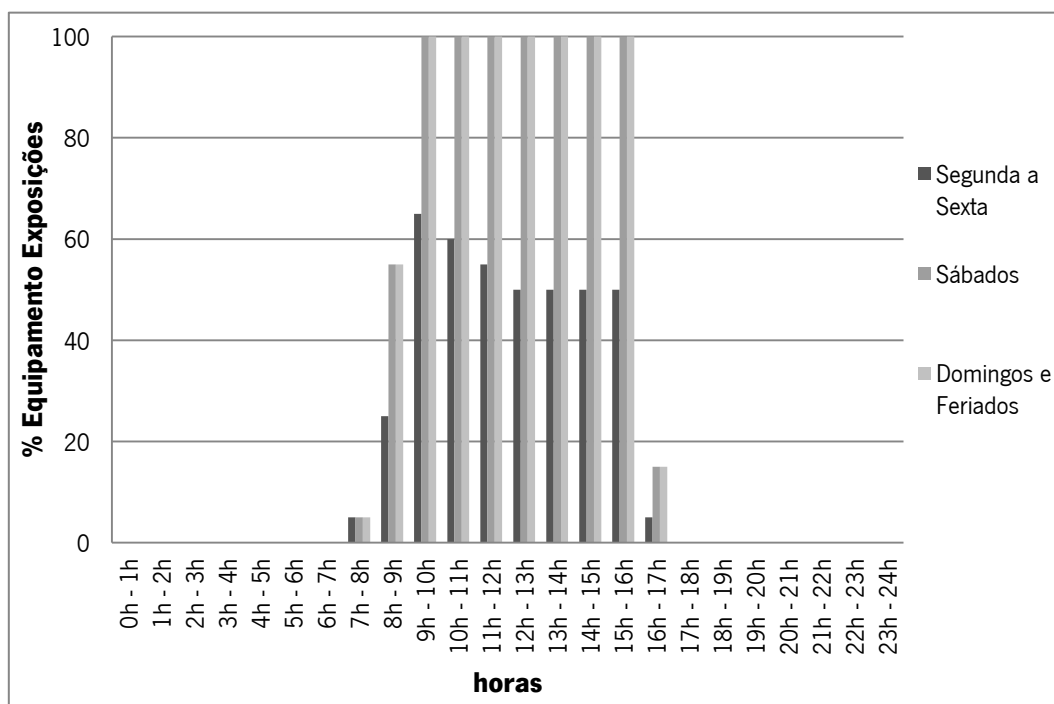


Figura F.9 – Perfil real de equipamento da Sala de Exposições.

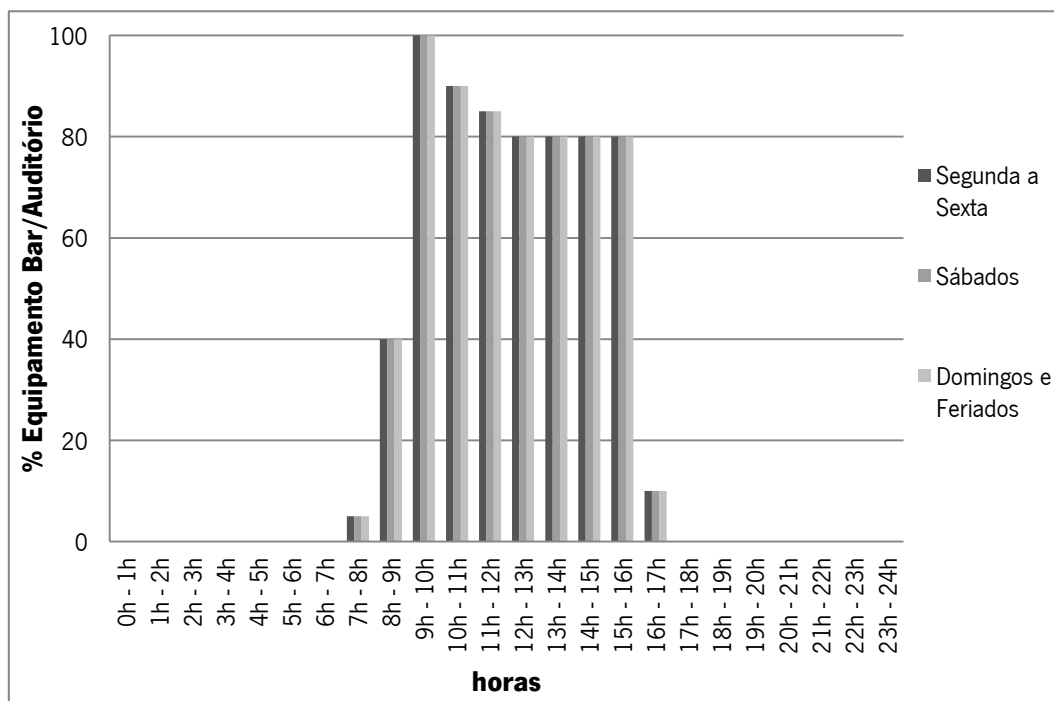


Figura F.10 – Perfil real de equipamento no Bar/Auditório.

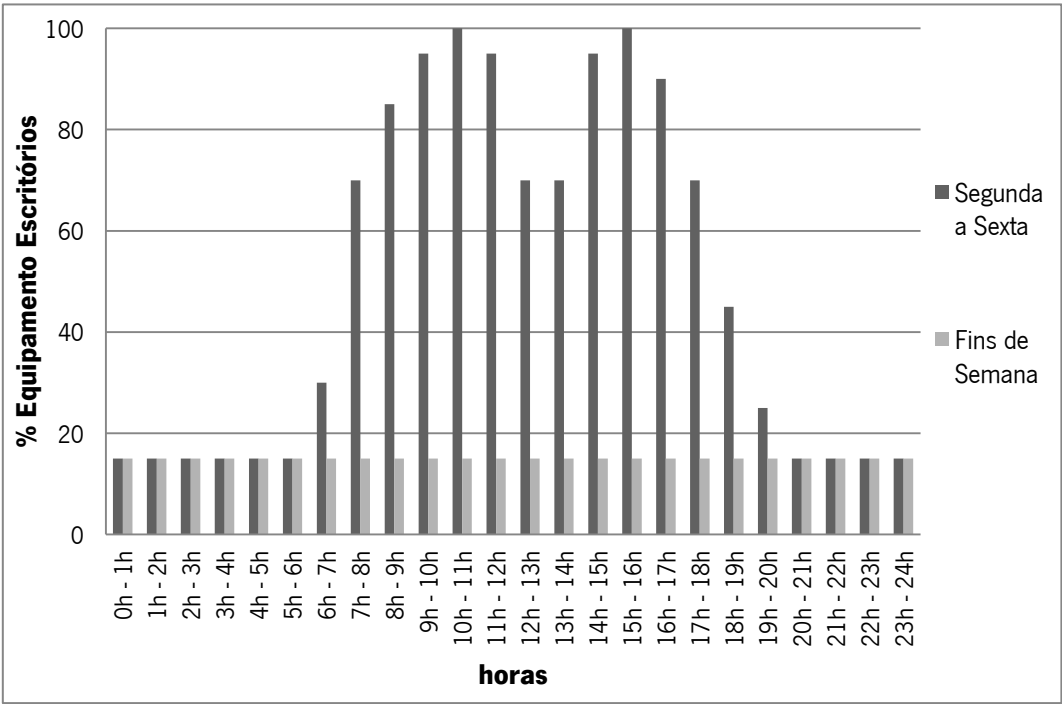


Figura F.11 – Perfil real de equipamento dos Escritórios.

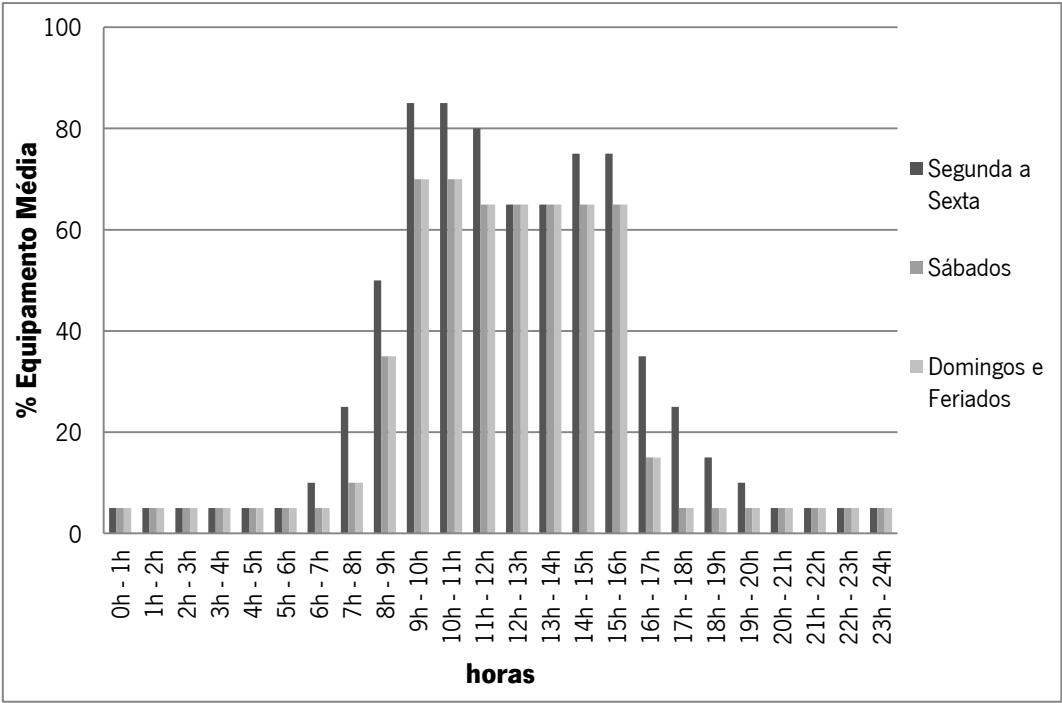


Figura F.12 – Perfil real de equipamentos médio do Museu.



## **ANEXO G – PERFIS MÉDIOS REAIS (CYPETERM)**





**Notas introdutórias:**

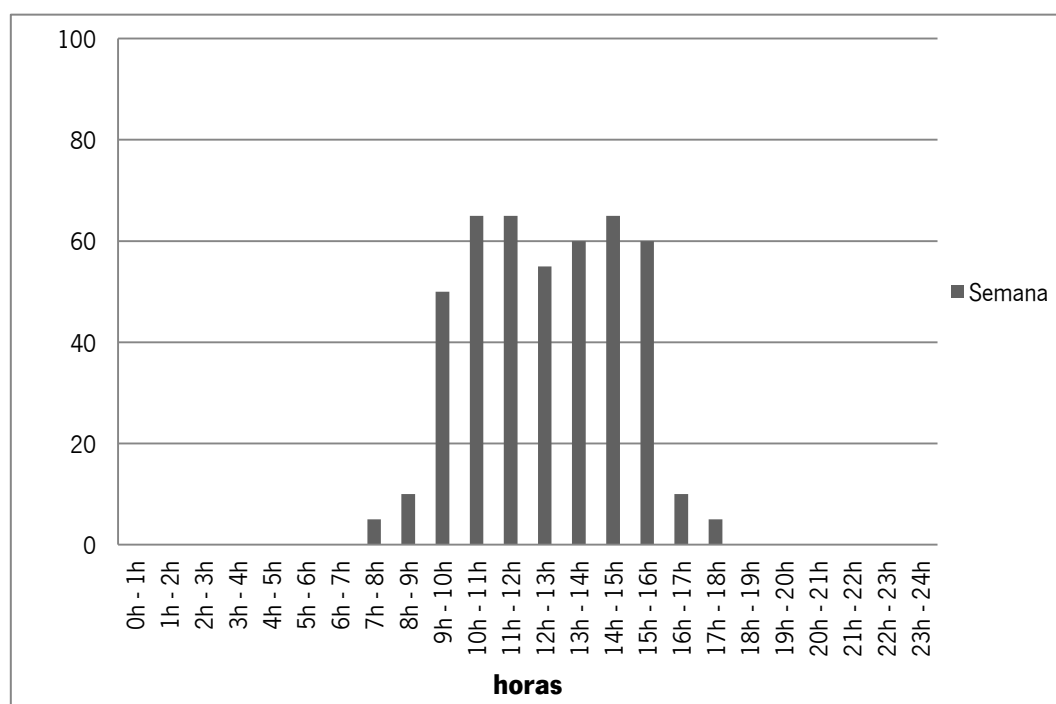
1 – Para os compartimentos da Sala de Exposições e Arrumos foi utilizado o perfil de Museus e Galerias com uma ligeira afectação durante a semana. Devido a este espaço ser utilizado mais ao fim-de-semana alterou-se os perfis de forma a aumentar a sua utilização ao fim-de-semana e a diminuir durante os dias laborais. Assim a sua afectação teve por base o caudal de ar novo inserido nesses espaços, representando 64% do edifício, como demonstrado no **Anexo F**. O valor utilizado nestes perfis são os da afectação:

$$Afectação = \frac{(4 \times [Valor\ real\ Seg.\ a\ Sex.]) + (2 \times [Valor\ real\ Fds])}{6}$$

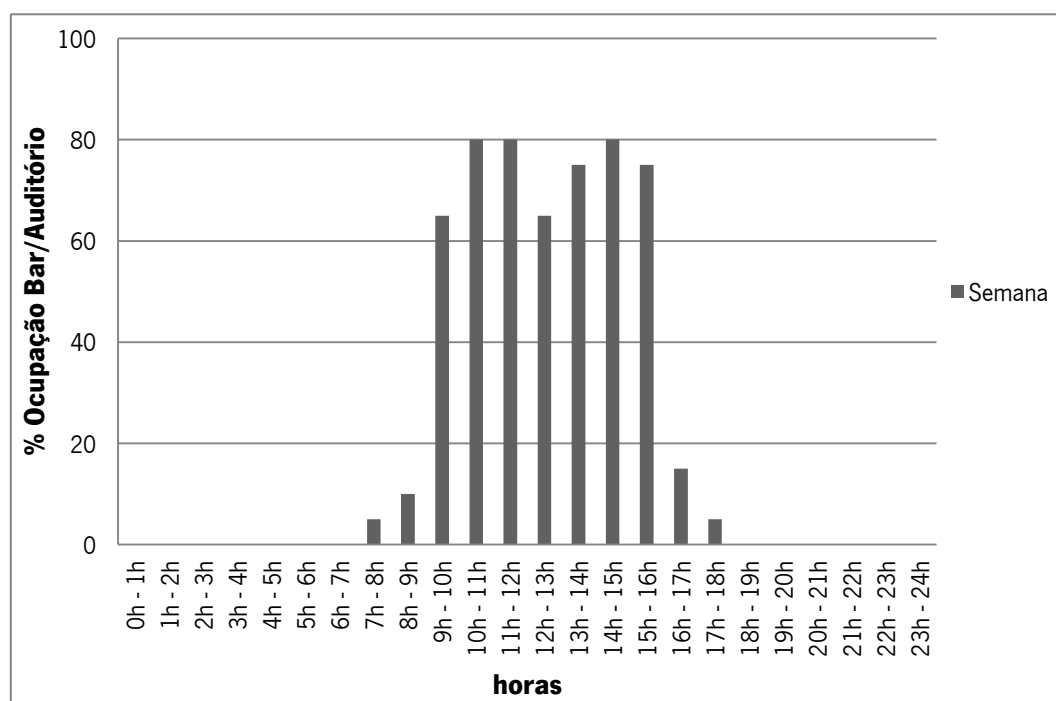
2 – Para os compartimentos do Bar/Cozinha e do Auditório utilizou-se a afectação dos valores reais para estes compartimentos.

3 – Para os compartimentos da Sala de trabalho, Sala de conservação e Sala de informática utilizou-se a afectação dos valores reais para estes compartimentos.

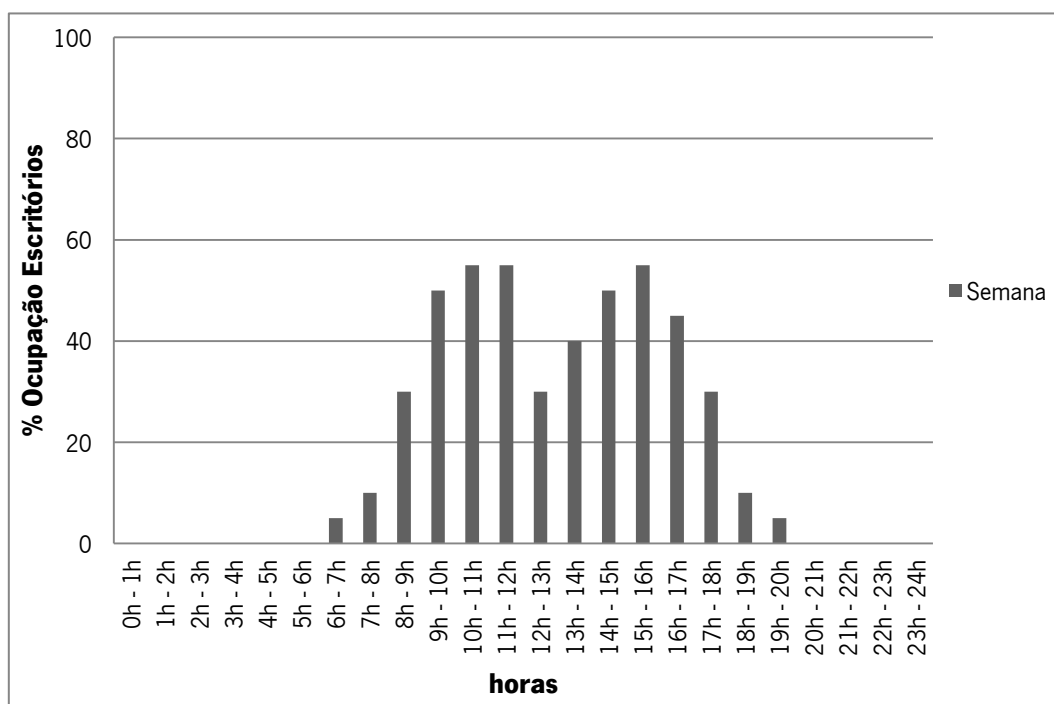
## Ocupação



**Figura G.1** – Perfil real médio ponderado de ocupação utilizado na Sala de Exposições.

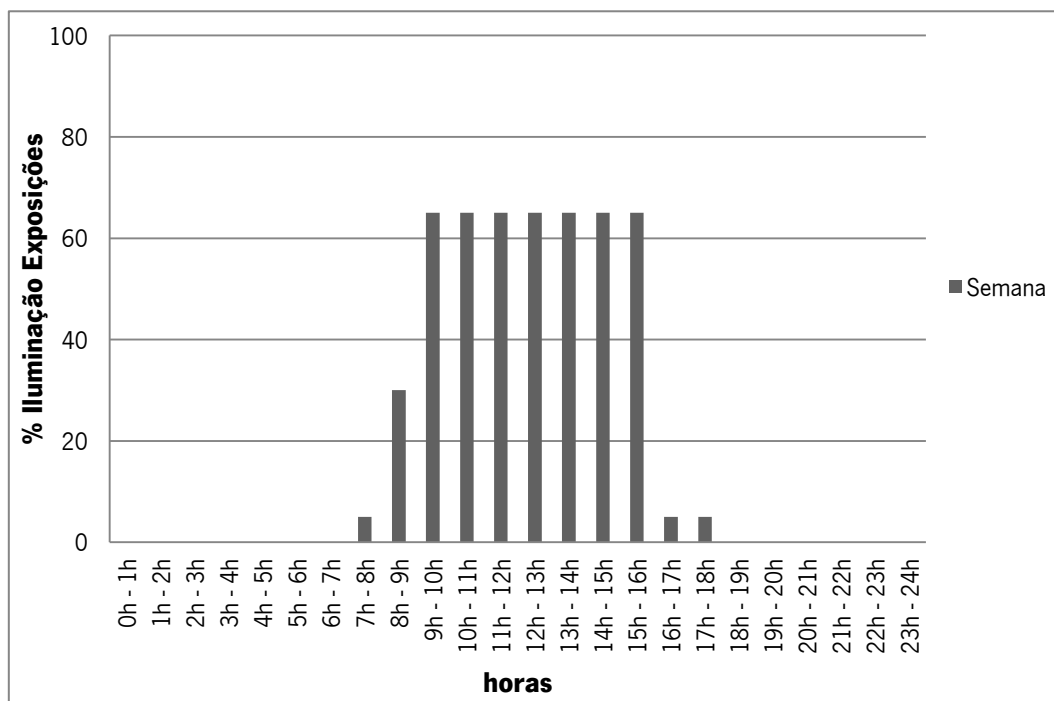


**Figura G.2** – Perfil real médio ponderado de ocupação utilizado no Bar/Auditorio.

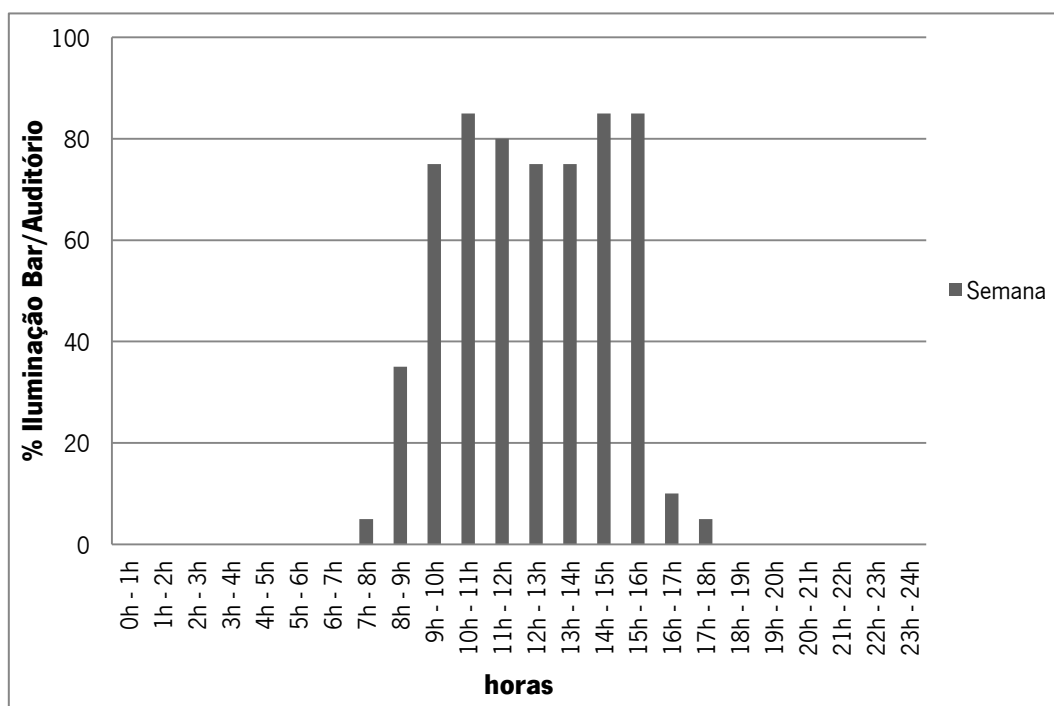


**Figura G.3** – Perfil real médio ponderado de ocupação utilizado nos Escritórios.

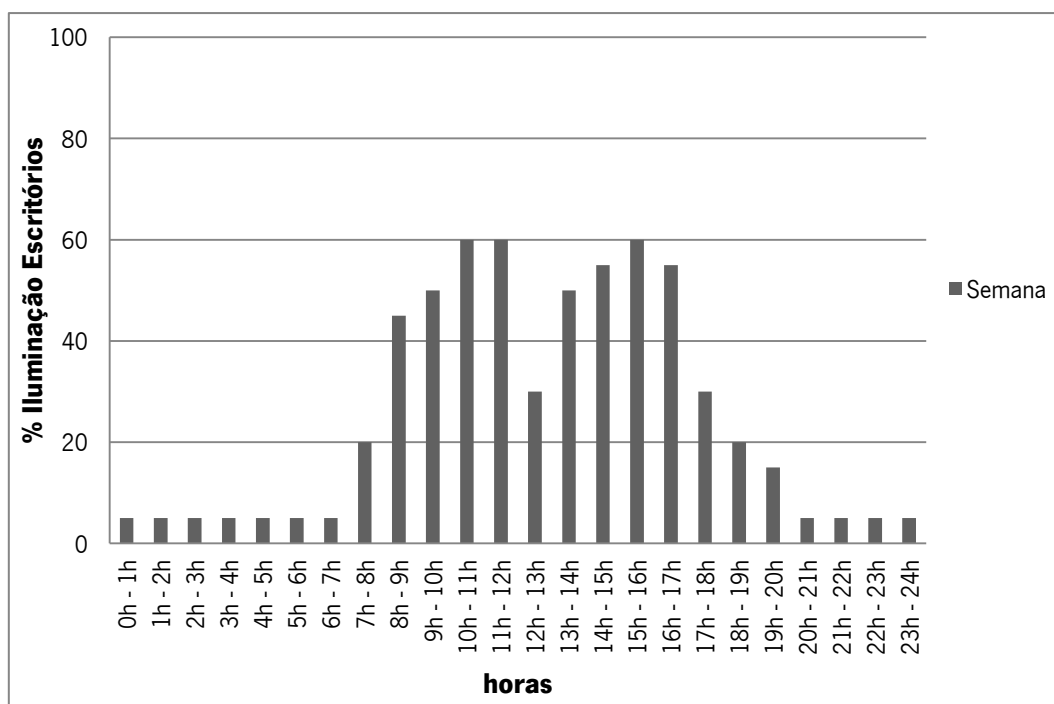
## **Iluminação**



**Figura G.4** – Perfil real médio ponderado de iluminação utilizado na Sala de Exposições.

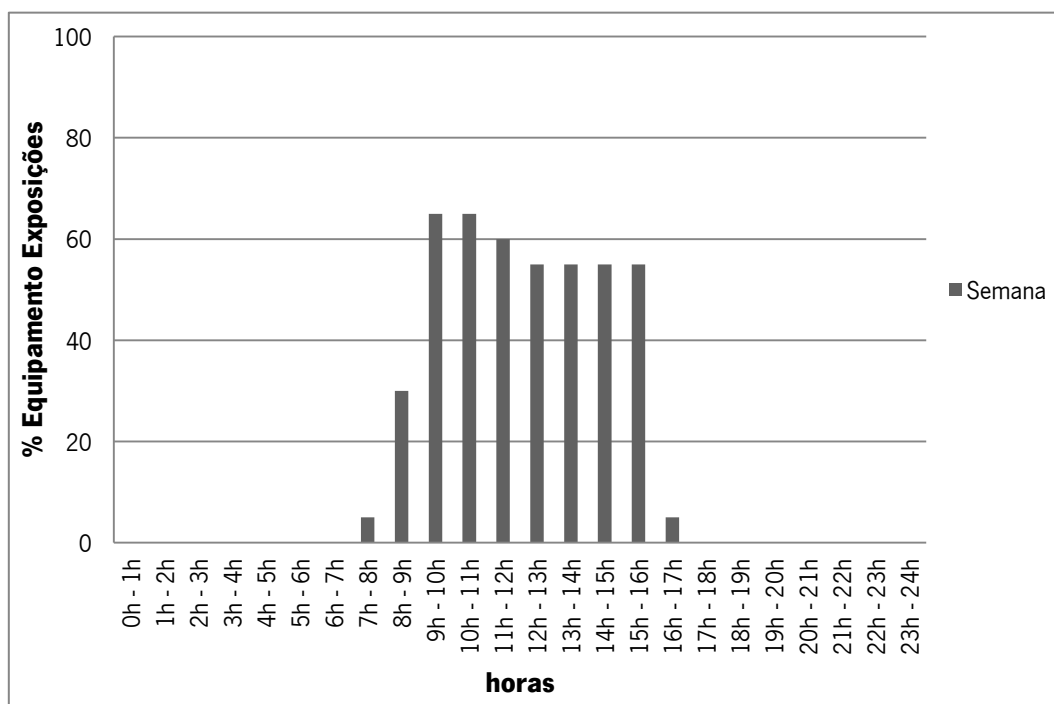


**Figura G.5** – Perfil real médio ponderado de iluminação utilizado no Bar/Auditório.

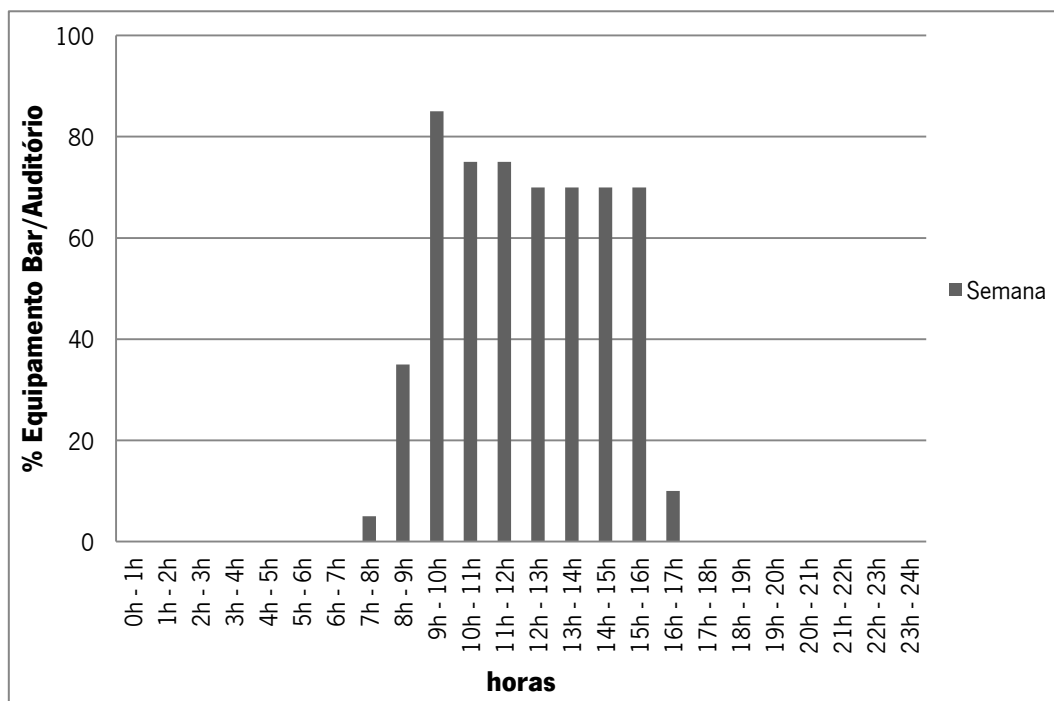


**Figura G.6** – Perfil real médio ponderado de iluminação utilizado nos Escritórios.

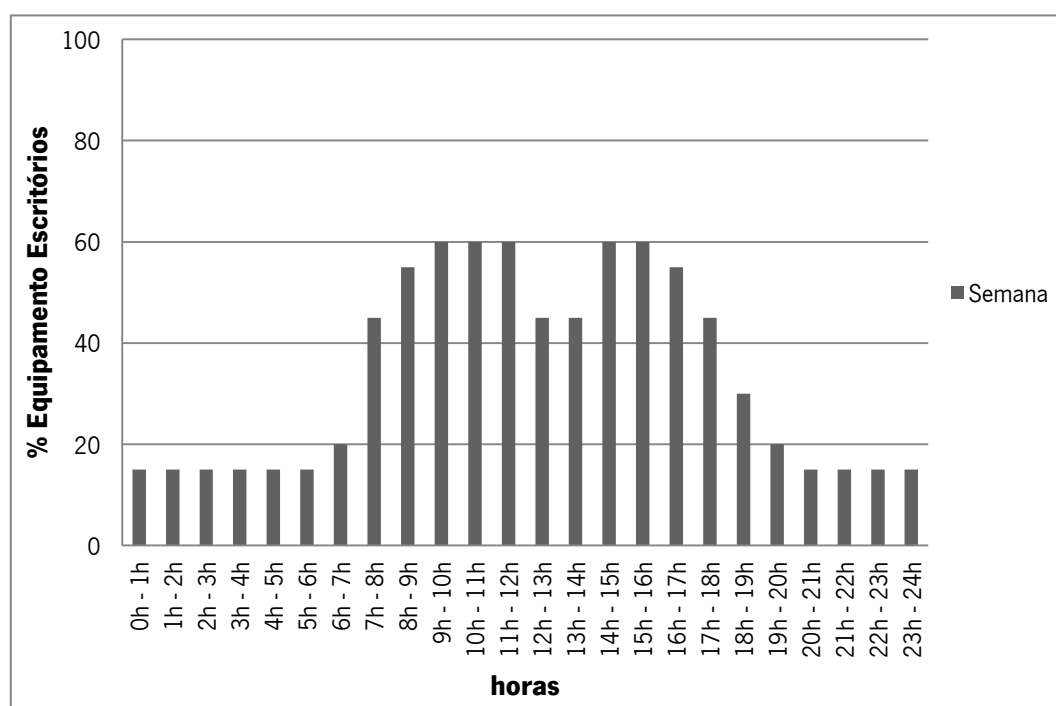
## **Equipamento**



**Figura G.7** – Perfil real médio ponderado de equipamento utilizado na Sala de Exposições.



**Figura G.8** – Perfil real médio ponderado de equipamento utilizado no Bar/Auditório.



**Figura G.9** – Perfil real médio ponderado de equipamento utilizado nos Escritórios.

## **ANEXO H – SOLUÇÕES DE CONSTRUÇÃO (STE)**





## Caso 1 e 2

**Tabela H.1** – Resumo das características das paredes exteriores.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Orientação	Área (m²)	Msi (kg/m²)	λ isol. (W/m °C)	λ rev. (W/m °C)	U (W/m² °C)
Ext_1E	Ext_1	Granito 0,2 + Betão	0,04	0,015	Este	36,19	150	0,037	0,25	0,45
Ext_1N	Ext_1	Granito 0,2 + Betão	0,04	0,015	Norte	104,59	150	0,037	0,25	0,45
Ext_1W	Ext_1	Granito 0,2 + Betão	0,04	0,015	Oeste	43	150	0,037	0,25	0,45
Ext_2E	Ext_2	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Este	12,87	150	0,037	0,25	0,38
Ext_2N	Ext_2	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Norte	0,87	150	0,037	0,25	0,38
Ext_2W	Ext_2	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Oeste	12,91	150	0,037	0,25	0,38
Ext_3E	Ext_3	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Este	7,15	150	0,037	0,25	0,27
Ext_3S	Ext_3	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Sul	1,25	150	0,037	0,25	0,27
Ext_4E	Ext_4	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Este	16,27	15	0,04	0,25	0,46
Ext_4N	Ext_4	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Norte	22,41	15	0,04	0,25	0,46
Ext_4S	Ext_4	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Sul	15,93	15	0,04	0,25	0,46
Ext_5E	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Este	7,38	15	0,04	0,25	0,5
Ext_5N	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Norte	1,33	15	0,04	0,25	0,5
Ext_5S	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Sul	35,77	15	0,04	0,25	0,5
Ext_5W	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Oeste	36,92	15	0,04	0,25	0,5
Ext_6W	Ext_6	Betão armado 0,25	0,03	0,015	Oeste	2,12	12	0,041	0,25	0,92
Ext_Ve12W	Ext_Ve12	Estrutura metálica c	0,034	0,003	Oeste	2,5	23,4	0,04	50	0,9

**Tabela H.2** – Resumo das características das paredes interiores.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do rev. lado I (m)	Esp. do rev. lado II (m)	Área (m²)	mt (kg/m²)	λ rev. lado I (W/m °C)	λ rev. lado II (W/m °C)
Int_1	Int_1	Betão armado	0,015	0,015	52,01	630,05	0,25	0,25
Int_2	Int_2	Pladur	0,015	0,015	29,09	33,5	0,25	0,25
Int_3	Int_3	Pladur	0,015	0,015	33,29	35	0,25	0,25
Int_6	Int_6	Betão armado	0,015	0,015	14,54	390,05	0,25	0,25
Int_7	Int_7	Pladur	0,015	0,015	60,2	35	0,25	0,25

**Tabela H.3** – Resumo das características das paredes em contacto com o solo.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Z (m)	Msi (kg/m²)	λ rev. (W/m °C)	U (W/m² °C)	ψ (W/m °C)
Ext_Cave1	Ext_Cave1	Betão armado	0,03	0,015	123,88	45,63	3,55	150	0,25	0,46	0,3
Ext_Cave2	Ext_Cave2	Betão armado	0,05	0,025	188,75	69,52	3,55	150	0,25	0,34	0,3

**Tabela H.4** – Resumo das características dos pavimentos em contacto com o solo.

Código	Cód. da soluc.	Esp. do isol. perim. (m)	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Z (m)	Msi (kg/m²)	λ isol. (W/m °C)	λ rev. (W/m °C)	ψ (W/m °C)
Pav_1	Pav_1	0,04	0,04	0,11	564,88	165,57	0,1	150	0,037	1,65	1,8
Pav_2	Pav_2	0,04	0,04	0,08	51,1	13,45	0,1	150	0,037	2,8	1,8
Pav_3	Pav_3	0,04	0,04	0,11	465,96	119,69	0,1	150	0,037	1,65	1,8

**Tabela H.5** – Resumo das pontes térmicas lineares.

Código	Cód. da soluc.	Tipo de ponte térmica	Comprimento (m)	ψ (W/m °C)
A	A	Ligação da fachada com os pavimentos térreos	226,14	0,61
D	D	Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço	111,76	0,41
F	F	Ligação entre duas paredes verticais	8,16	0,2
H	H	Ligação fachada / padieira ou peitoril	174,22	0,2

**Tabela H.6** – Resumo das características dos vãos envidraçados.

Código	Tipo de env	Envidraçado	Caixilho	Disp. protecção solar
Ve01N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas- cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve01S	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas- cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve02N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve03S	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas -cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve04W	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve05N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve06E	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve07N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve09N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve10E	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve10N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve11N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes

**Tabela H.7** – Continuação do resumo das características dos vãos envidraçados.

Código	Âng. hori	Âng. pala horiz.	Âng. pala Esq.	Âng. pala Dir.	Orientação	Área (m²)	U (W/m² °C)	g Vidro	g Inv.	g Ver.	Xj	Fs Inv.	Fs Ver.	Fg	Fw Inv.
Ve01N	20	60	58	58	Norte	18,13	3,03	0,75	0,63	0,55	0,27	1	0,94	0,97	0,9
Ve01S	20	60	60	60	Sul	18,16	3,03	0,75	0,63	0,55	1	0,26	0,35	0,97	0,9
Ve02N	20	0	0	0	Norte	5,79	3,04	0,75	0,63	0,55	0,27	0,9	0,9	0,96	0,9
Ve03S	45	0	0	0	Sul	7,15	3,05	0,75	0,63	0,55	1	0,41	0,9	0,95	0,9
Ve04W	20	0	0	0	Oeste	4,75	3,05	0,75	0,63	0,55	0,56	0,76	0,9	0,95	0,9
Ve05N	45	0	0	0	Norte	16,5	3,03	0,75	0,63	0,55	0,27	0,9	0,9	0,97	0,9
Ve06E	45	0	0	0	Este	7,5	3,04	0,75	0,63	0,55	0,56	0,52	0,9	0,96	0,9
Ve07N	20	0	0	0	Norte	7,5	3,04	0,75	0,63	0,55	0,27	0,9	0,9	0,96	0,9
Ve09N	20	0	0	0	Norte	29,45	3,02	0,75	0,63	0,55	0,27	0,9	0,9	0,98	0,9
Ve10E	20	0	60	60	Este	5,78	3,04	0,75	0,63	0,55	0,56	0,6	0,86	0,96	0,9
Ve10N	20	0	60	60	Norte	5,91	3,04	0,75	0,63	0,55	0,27	1	1	0,96	0,9
Ve11N	45	0	0	0	Norte	12,71	3,03	0,75	0,63	0,55	0,27	0,9	0,9	0,97	0,9

### Caso 3

#### ➤ Espaço das Exposições:

**Tabela H.8** – Resumo das características das paredes exteriores.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Orientação	Área (m²)	Msi (kg/m²)	λ isol. (W/m °C)	λ rev. (W/m °C)	U (W/m² °C)
Ext_1N	Ext_1	Granito 0,2 + Betão	0,04	0,015	Norte	77,07	150	0,037	0,25	0,45
Ext_2N	Ext_2	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Norte	0,87	150	0,037	0,25	0,38
Ext_2W	Ext_2	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Oeste	12,91	150	0,037	0,25	0,38
Ext_3S	Ext_3	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Sul	0,3	150	0,037	0,25	0,27
Ext_4E	Ext_4	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Este	16,27	15	0,04	0,25	0,46
Ext_4N	Ext_4	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Norte	15,83	15	0,04	0,25	0,46
Ext_5E	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Este	1,34	15	0,04	0,25	0,5
Ext_5N	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Norte	1,33	15	0,04	0,25	0,5
Ext_5S	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Sul	35,77	15	0,04	0,25	0,5
Ext_5W	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Oeste	30,88	15	0,04	0,25	0,5

**Tabela H.9** – Resumo das características das paredes interiores.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do rev. lado I (m)	Esp. do rev. lado II (m)	Área (m²)	mt (kg/m²)	λ rev. lado I (W/m °C)	λ rev. lado II (W/m °C)
Int_1	Int_1	Betão armado	0,015	0,015	12,91	630,05	0,25	0,25
Int_2	Int_2	Pladur	0,015	0,015	2,26	33,5	0,25	0,25

**Tabela H.10** – Resumo das características das paredes em contacto com o solo.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Z (m)	Msi (kg/m²)	λ rev. (W/m °C)	U (W/m² °C)	ψ (W/m °C)
Ext_Cave2	Ext_Cave2	Betão armado	0,05	0,025	188,75	69,52	3,55	150	0,25	0,34	0,3

**Tabela H.11** – Resumo das características dos pavimentos em contacto com o solo.

Código	Cód. da soluc.	Esp. do isol. perim. (m)	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Z (m)	Msi (kg/m²)	λ isol. (W/m °C)	λ rev. (W/m °C)	ψ (W/m °C)
Pav_1	Pav_1	0,04	0,04	0,11	564,88	165,57	0,1	150	0,037	1,65	1,8
Pav_2	Pav_2	0,04	0,04	0,08	51,1	13,45	0,1	150	0,037	2,8	1,8

**Tabela H.12** – Resumo das pontes térmicas lineares.

Código	Cód. da soluc.	Tipo de ponte térmica	Comprimento (m)	ψ (W/m °C)
A_PTL	A_PTL	Ligação da fachada com os pavimentos térreos	129,18	0,61
D_PTL	D_PTL	Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço	59,89	0,41
F_PTL	F_PTL	Ligação entre duas paredes verticais	2,72	0,24
H_PTL	H_PTL	Ligação fachada / padieira ou peitoril	119,57	0,2

**Tabela H.13** – Resumo das características dos vãos envidraçados.

Código	Tipo de env	Envidraçado	Caixilho	Disp. protecção solar
Ve01N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas- cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve01S	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas- cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve06E	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve07N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve09N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve10E	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve10N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes

**Tabela H.14** – Continuação do resumo das características dos vãos envidraçados.

Código	Âng. hor	Âng. pala horiz.	Âng. pala Esq.	Âng. pala Dir.	Orientação	Área (m²)	U (W/m² °C)	g Vidro	g Inv.	g Ver.	Xj	Fs Inv.	Fs Ver.	Fg	Fw Inv.	Fw Ver.
Ve01N	20	60	58	58	Norte	18,13	3,03	0,75	0,63	0,55	0,27	1	0,94	0,97	0,9	0,8
Ve01S	20	60	60	60	Sul	18,16	3,03	0,75	0,63	0,55	1	0,26	0,35	0,97	0,9	0,75
Ve06E	45	0	0	0	Este	7,5	3,04	0,75	0,63	0,55	0,56	0,52	0,9	0,96	0,9	0,85
Ve07N	20	0	0	0	Norte	7,5	3,04	0,75	0,63	0,55	0,27	0,9	0,9	0,96	0,9	0,8
Ve09N	20	0	0	0	Norte	29,45	3,02	0,75	0,63	0,55	0,27	0,9	0,9	0,98	0,9	0,8
Ve10E	20	0	60	60	Este	5,78	3,04	0,75	0,63	0,55	0,56	0,6	0,86	0,96	0,9	0,85
Ve10N	20	0	60	60	Este	5,91	3,04	0,75	0,63	0,55	0,56	0,6	0,86	0,96	0,9	0,85

**Tabela H.15** – Resumo das características do envidraçado interior.

Código	Tipo de env	Envidraçado	Caixilho	Ai (m²)	U (W/m² °C)	$\tau$
V101	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	22,8	3,03	0,6

## ➤ Espaço do Bar/Auditório

**Tabela H.16** – Resumo das características das paredes exteriores.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Orientação	Área (m²)	Msi (kg/m²)	$\lambda$ isol. (W/m °C)	$\lambda$ rev. (W/m °C)	U (W/m² °C)
Ext_1E	Ext_1	Granito 0,2 + Betão	0,04	0,015	Este	34,73	150	0,037	0,25	0,45
Ext_1N	Ext_1	Granito 0,2 + Betão	0,04	0,015	Norte	27,53	150	0,037	0,25	0,45
Ext_1W	Ext_1	Granito 0,2 + Betão	0,04	0,015	Oeste	43	150	0,037	0,25	0,45
Ext_2E	Ext_2	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Este	12,87	150	0,037	0,25	0,38
Ext_3E	Ext_3	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Este	7,15	150	0,037	0,25	0,27
Ext_3S	Ext_3	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Sul	0,95	150	0,037	0,25	0,27
Ext_4S	Ext_4	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Sul	15,93	15	0,04	0,25	0,46
Ext_5E	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Este	6,04	15	0,04	0,25	0,5
Ext_5W	Ext_5	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Oeste	6,04	15	0,04	0,25	0,5

**Tabela H.17** – Resumo das características das paredes interiores.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do rev. lado I (m)	Esp. do rev. lado II (m)	Área (m²)	mt (kg/m²)	$\lambda$ rev. lado I (W/m °C)	$\lambda$ rev. lado II (W/m °C)
Int_1	Int_1	Betão armado	0,015	0,015	39,1	630,05	0,25	0,25
Int_2	Int_2	Pladur	0,015	0,015	7,57	33,5	0,25	0,25
Int_3	Int_3	Pladur	0,015	0,015	33,29	35	0,25	0,25

**Tabela H.18** – Resumo das características das paredes em contacto com o solo.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Z (m)	Msi (kg/m²)	$\lambda$ rev. (W/m °C)	U (W/m² °C)	$\psi$ (W/m °C)
Ext_Cave1	Ext_Cave1	Betão armado	0,03	0,015	27,85	10,26	3,55	150	0,25	0,46	0,3

**Tabela H.19** – Resumo das características dos pavimentos em contacto com o solo.

Código	Cód. da soluc.	Esp. do isol. perim. (m)	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Z (m)	Msi (kg/m²)	$\lambda$ isol. (W/m °C)	$\lambda$ rev. (W/m °C)	$\psi$ (W/m °C)
Pav_3	Pav_3	0,04	0,04	0,11	317,76	73,58	0,1	150	0,037	1,65	1,8

**Tabela H.20** – Resumo das pontes térmicas lineares.

Código	Cód. da soluc.	Tipo de ponte térmica	Comprimento (m)	$\psi$ (W/m °C)
PTL_A	PTL_A	Ligação da fachada com os pavimentos térreos	59,75	0,61
PTL_D	PTL_D	Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço	50,02	0,41
PTL_F	PTL_F	Ligação entre duas paredes verticais	5,44	0,18
PTL_H	PTL_H	Ligação fachada / padieira ou peitoril	32,26	0,2

**Tabela H.21** – Resumo das características dos vãos envidraçados.

Código	Tipo de env.	Envidraçado	Caixilho	Disp. protecção solar
Ve02N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve03S	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes
Ve04W	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes

**Tabela H.22** – Continuação do resumo das características dos vãos envidraçados.

Código	Âng. hor.	Âng. pala horiz.	Âng. pala Esq.	Âng. pala Dir.	Orientação	Área (m²)	U (W/m² °C)	g Vidro	g Inv.	g Ver.	Xj	Fs Inv.	Fs Ver.	Fg	Fw Inv.	Fw Ver.
Ve02N	20	0	0	0	Norte	5,79	3,04	0,75	0,63	0,55	0,27	0,9	0,9	0,96	0,9	0,8
Ve03S	45	0	0	0	Sul	7,15	3,05	0,75	0,63	0,55	1	0,41	0,9	0,95	0,9	0,75
Ve04W	20	0	0	0	Oeste	4,75	3,05	0,75	0,63	0,55	0,56	0,76	0,9	0,95	0,9	0,85

**Tabela H.23** – Resumo das características do envidraçado interior.

Código	Tipo de env.	Envidraçado	Caixilho	Ai (m²)	U (W/m² °C)	$\tau$
Vi 01	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	22,8	3,03	0,6
Vi08	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	12	3,6	0,6

## ➤ Espaço dos Escritórios

**Tabela H.24** – Resumo das características das paredes exteriores.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Orientação	Área (m²)	Msi (kg/m²)	$\lambda$ isol. (W/m °C)	$\lambda$ rev. (W/m °C)	U (W/m² °C)
Ext_1E	Ext_1	Granito 0,2 + Betão	0,04	0,015	Este	1,46	150	0,037	0,25	0,45
Ext_4N	Ext_4	Betão armado 0,25	0,05	0,015	Norte	6,58	15	0,04	0,25	0,46
Ext_6W	Ext_6	Betão armado 0,25	0,03	0,015	Oeste	2,12	12	0,041	0,25	0,92
Ext_Ve12W	Ext_Ve12	Estrutura metálica	0,034	0,003	Oeste	2,5	23,4	0,04	50	0,9

**Tabela H.25** – Resumo das características das paredes interiores.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do rev. lado I (m)	Esp. do rev. lado II (m)	Área (m²)	mt (kg/m²)	$\lambda$ rev. lado I (W/m °C)	$\lambda$ rev. lado II (W/m °C)
Int_2	Int_2	Pladur	0,015	0,015	19,25	33,5	0,25	0,25
Int_6	Int_6	Betão armado	0,015	0,015	14,54	390,05	0,25	0,25
Int_7	Int_7	Pladur	0,015	0,015	60,2	35	0,25	0,25

**Tabela H.26** – Resumo das características das paredes em contacto com o solo.

Código	Cód. da soluc.	Parede	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Z (m)	Msi (kg/m²)	$\lambda$ rev. (W/m °C)	U (W/m² °C)	$\psi$ (W/m °C)
Ext_Cave1	Ext_Cave1	Betão armado	0,03	0,015	96,03	35,37	3,55	150	0,25	0,46	0,3

**Tabela H.27** – Resumo das características dos pavimentos em contacto com o solo.

Código	Cód. da soluc.	Esp. do isol. perim. (m)	Esp. do isol. (m)	Esp. do rev. (m)	Área (m²)	Perímetro (m)	Z (m)	Msi (kg/m²)	λ isol. (W/m °C)	λ rev. (W/m °C)	ψ (W/m °C)
Pav_3	Pav_3	0,04	0,04	0,11	148,2	46,11	0,1	150	0,037	1,65	1,8

**Tabela H.28** – Resumo das pontes térmicas lineares.

Código	Cód. da soluc.	Tipo de ponte térmica	Comprimento (m)	ψ (W/m °C)
A-ptl	A-ptl	Ligação da fachada com os pavimentos térreos	46,11	0,64
D-ptl	D-ptl	Ligação da fachada com cobertura inclinada ou terraço	10,74	0,31
H-ptl	H-ptl	Ligação fachada / padieira ou peitoril	22,39	0,2

**Tabela H.29** – Resumo das características dos vãos envidraçados.

Código	Tipo de env	Envidraçado	Caixilho	Disp. protecção solar
Ve05N	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	Cortinas interiores ligeiramente transparentes

**Tabela H.30** – Continuação do resumo das características do vão envidraçado.

Código	Âng. hor	Âng. pala horiz.	Âng. pala Esq.	Âng. pala Dir.	Orientação	Área (m²)	U (W/m² °C)	g Vidro	g Inv.	g Ver.	Xj	Fs Inv.	Fs Ver.	Fg	Fw Inv.	Fw Ver.
Ve05N	45	0	0	0	Norte	16,5	3,03	0,75	0,63	0,55	0,27	0,9	0,9	0,97	0,9	0,8

**Tabela H.31** – Resumo das características do envidraçado interior.

Código	Tipo de env	Envidraçado	Caixilho	Ai (m²)	U (W/m² °C)	τ
Vi08	Duplo	Vidro incolor 4mm a 8mm + vidro incolor 5mm	Fachadas-cortina de metal	12	3,6	0,6

## **ANEXO I – CARGAS TÉRMICAS**





## **1 – PARÂMETROS GERAIS**

Localização: Terras de Bouro

Latitude (graus): 41.72 graus

Altitude sobre o nível do mar: 640 m

Temperatura seca Verão: 32.00 °C

Temperatura húmida Verão: 22.00 °C

Oscilação média diária: 13 °C

Oscilação média anual: 30 °C

Temperatura seca de Inverno: -2.00 °C

Humidade relativa de Inverno: 90 %

Velocidade do vento: 1 m/s

Temperatura do terreno: 5.00 °C

Percentagem de majoração devida à orientação N: 20 %

Percentagem de majoração devida à orientação S: 0 %

Percentagem de majoração devida à orientação E: 10 %

Percentagem de majoração devida à orientação W: 10 %

Suplemento de intermitência para aquecimento: 5 %

Percentagem de cargas devido à própria instalação: 3 %

Percentagem de majoração de cargas (Inverno): 0 %

Percentagem de majoração de cargas (Verão): 0 %

## 2 – RESULTADOS DE CÁLCULO DOS COMPARTIMENTOS

### 2.1 – Arrefecimento

**Tabela I.1** – Carga máxima de arrefecimento no Espaço de Exposições.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)							
Compartimento			Conjunto de compartimentos				
Espaço Expositivo (Espaço Expositivo)			Museu				
Condições de projecto							
Internas			Externas				
Temperatura interior = 25.0 °C			Temperatura exterior = 30.3 °C				
Humidade relativa interior = 50.0 %			Temperatura húmida = 21.7 °C				
Cargas de arrefecimento às 15h (13 hora solar) do 1 de Julho						C. LATENTE (W)	C. SENSÍVEL (W)
Envolventes exteriores							
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)	50.72 15.06 11.89 5.09 1.46 6.35
Fachada	N	88.6	0.45	1135	Claro	26.3	
Fachada	S	41.6	0.50	631	Claro	25.7	
Fachada	W	35.9	0.50	631	Claro	25.7	
Fachada	N	20.5	0.46	631	Claro	25.5	
Fachada	E	2.5	0.50	631	Claro	26.2	
Fachada	E	20.2	0.46	631	Claro	25.7	
Envidraçados exteriores							
Núm. janelas	Orientaç ão	Superfície total (m²)	U (W/(m²°C))	Coef. radiação solar	Ganho (W/m²)		1138.09 291.67 486.41 223.93 229.06 289.51
1	N	29.4	3.20	0.53	38.7		
1	N	7.5	3.33	0.53	38.9		
1	N	12.7	3.26	0.53	38.3		
1	E	5.8	3.38	0.53	38.8		
1	N	5.9	3.38	0.53	38.8		
1	E	7.5	3.33	0.53	38.6		
Coberturas							
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)		1368.82
Plana	554.1	0.26	1146	Intermédio	34.4		
Envolventes interiores							
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Teq. (°C)		179.82	
Abertura interior	22.4	3.03		27.6			
Total estrutural						4297.88	
Ocupantes							
Actividade	Nº de pessoas	C.lat/per (W)	C.sen/per (W)			3098.23	3498.68
De pé ou marcha lenta	80	64.55	43.73				
Iluminação							
Tipo	Potência (W)	Coef. iluminação				3573.30	
Fluorescente com reactância	5160.00	0.69					
Instalações e outras cargas							
Cargas interiores						3098.23	7161.10
Cargas interiores totais						10259.34	
Cargas devidas à própria instalação						3.0 %	343.77

<b>FACTOR CALOR SENSÍVEL :</b> <b>0.79</b>	<b>Cargas internas totais</b>	<b>3098.23</b>	<b>11802.75</b>
<b>Potência térmica interna total</b>			<b>14900.99</b>
<b>Ventilação</b>			
<b>Caudal de ventilação total (m³/h)</b>			
8311.4		20035.24	12428.92
<b>Cargas de ventilação</b>		<b>20035.24</b>	<b>12428.92</b>
<b>Potência térmica de ventilação total</b>			<b>32464.15</b>
<b>Potência térmica</b>		<b>23133.47</b>	<b>24231.67</b>
<b>POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 554.1 m²</b>	<b>85.5 W/m²</b>	<b>POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 47365.1 W</b>	

Tabela I.2 – Carga máxima de arrefecimento nos Arrumos.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)										
Compartimento		Conjunto de compartimentos								
Arrumos (Arrumos)		Museu								
Condições de projecto										
Internas				Externas						
Temperatura interior = 25.0 °C				Temperatura exterior = 30.3 °C						
Humidade relativa interior = 50.0 %				Temperatura húmida = 21.7 °C						
Cargas de arrefecimento às 15h (13 hora solar) do 1 de Julho							C. LATENTE (W)	C. SENSÍVEL (W)		
Envolventes exteriores										
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)				
Fachada	N	7.2	0.45	1135	Claro	26.3				
Fachada	W	15.0	0.38	624	Claro	25.9				
Coberturas										
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)					
Plana	10.8	0.26	1146	Intermédio	34.4					
							Total estrutural	35.65		
Ocupantes										
Actividade	Nº de pessoas	C.lat/per (W)	C.sen/per (W)							
De pé ou marcha lenta	1	64.55	74.73							
Iluminação										
Tipo	Potência (W)		Coef. iluminação							
Fluorescente com reactância	41.00		0.69							
Instalações e outras cargas									11.87	
							Cargas interiores	64.55	103.24	
							Cargas interiores totais		167.78	
Cargas devidas à própria instalação							3.0 %		4.17	
FACTOR CALOR SENSÍVEL : 0.69							Cargas internas totais		64.55	143.06
							Potência térmica interna total		207.60	
Ventilação										
Caudal de ventilação total (m³/h)										
68.0										
							Cargas de ventilação	163.92	101.69	
								163.92	101.69	

<b>Potência térmica de ventilação total</b>		<b>265.61</b>
<b>Potência térmica</b>	<b>228.47</b>	<b>244.75</b>
<b>POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 10.8 m<sup>2</sup></b>	<b>43.8 W/m<sup>2</sup></b>	<b>POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 473.2 W</b>

Tabela I.3 – Carga máxima de arrefecimento no Auditório.

<b>CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)</b>					
<b>Compartimento</b> <b>Conjunto de compartimentos</b>					
Auditório (Auditório)    Museu					
<b>Condições de projecto</b>					
<b>Internas</b>			<b>Externas</b>		
Temperatura interior = 25.0 °C			Temperatura exterior = 30.3 °C		
Humidade relativa interior = 50.0 %			Temperatura húmida = 21.7 °C		
<b>Cargas de arrefecimento às 15h (13 hora solar) do 1 de Julho</b>				<b>C. LATENTE (W)</b>	<b>C. SENSÍVEL (W)</b>
<b>Coberturas</b>					
<b>Tipo</b>	<b>Superfície (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/(m<sup>2</sup>°C))</b>	<b>Peso (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cor</b>	<b>Teq. (°C)</b>
Plana	51.6	0.26	1146	Intermédio	34.4
<b>Total estrutural</b>					<b>127.38</b>
<b>Ocupantes</b>					
<b>Actividade</b>	<b>Nº de pessoas</b>	<b>C.lat/per (W)</b>	<b>C.sen/per (W)</b>		
Sentado	52	84.90	60.49		
				3311.06	3145.54
<b>Iluminação</b>					
<b>Tipo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Coef. iluminação</b>			
Fluorescente com reactância	980.00	0.90			
					878.08
<b>Instalações e outras cargas</b>					72.19
<b>Cargas interiores</b>				<b>3311.06</b>	<b>3630.65</b>
<b>Cargas interiores totais</b>					<b>6941.72</b>
<b>Cargas devidas à própria instalação</b>				3.0 %	112.74
<b>FACTOR CALOR SENSÍVEL : 0.54</b>				<b>Cargas internas totais</b>	<b>3311.06</b>
					<b>3870.77</b>
<b>Potência térmica interna total</b>					<b>7181.83</b>
<b>Ventilação</b>					
<b>Caudal de ventilação total (m<sup>3</sup>/h)</b>					
1950.0				4700.63	2916.05
<b>Cargas de ventilação</b>				<b>4700.63</b>	<b>2916.05</b>
<b>Potência térmica de ventilação total</b>					<b>7616.68</b>
<b>Potência térmica</b>				<b>8011.69</b>	<b>6786.82</b>
<b>POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 51.6 m<sup>2</sup></b>				<b>287.0 W/m<sup>2</sup></b>	<b>POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 14798.5 W</b>

**Tabela I.4 –** Carga máxima de arrefecimento na Sala de Conservação.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)							
Compartimento			Conjunto de compartimentos				
Sala de conservação (Sala de conservação)			Museu				
Condições de projecto							
Internas		Externas					
Temperatura interior = 25.0 °C		Temperatura exterior = 31.4 °C					
Humidade relativa interior = 50.0 %		Temperatura húmida = 22.0 °C					
Cargas de arrefecimento às 16h (14 hora solar) do 1 de Julho						C. LATENTE (W)	C. SENSÍVEL (W)
Coberturas							
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)		
Plana	14.0	0.26	1146	Intermédio	34.4		34.50
Envolventes interiores							
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Teq. (°C)			
Parede interior	10.7	0.33	35	27.0			7.05
Total estrutural							41.55
Ocupantes							
Actividade	Nº de pessoas	C.lat/per (W)	C.sen/per (W)				
Empregado de escritório	3	64.55	46.81			129.09	140.43
Iluminação							
Tipo	Potência (W)	Coef. iluminação					
Fluorescente com reactância	250.00	0.60					150.13
Instalações e outras cargas							115.40
Cargas interiores						129.09	385.22
Cargas interiores totais							514.32
Cargas devidas à própria instalação						3.0 %	12.80
FACTOR CALOR SENSÍVEL : 0.77						Cargas internas totais	129.09 439.58
Potência térmica interna total							568.67
Ventilação							
Caudal de ventilação total (m³/h)							
112.5						271.21	203.15
Cargas de ventilação						271.21	203.15
Potência térmica de ventilação total							474.36
Potência térmica						400.30	642.73
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 14.0 m²						74.6 W/m²	POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 1043.0 W

Tabela I.5 – Carga máxima de arrefecimento na Sala de Informática.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)							
Compartimento			Conjunto de compartimentos				
Sala de informática (Sala de Informática)			Museu				
Condições de projecto							
Internas		Externas					
Temperatura interior = 25.0 °C		Temperatura exterior = 31.4 °C					
Humidade relativa interior = 50.0 %		Temperatura húmida = 22.0 °C					
Cargas de arrefecimento às 16h (14 hora solar) do 1 de Julho						C. LATENTE (W)	C. SENSÍVEL (W)
Coberturas							
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)		
Plana	18.3	0.26	1146	Intermédio	34.4		45.17
Envolventes interiores							
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Teq. (°C)			
Parede interior	11.5	0.33	35	27.0			7.59
Total estrutural							52.76
Ocupantes							
Actividade	Nº de pessoas	C.lat/per (W)	C.sen/per (W)				
Empregado de escritório	3	64.55	46.81			129.09	140.43
Iluminação							
Tipo	Potência (W)		Coef. iluminação				
Fluorescente com reactância	250.00		0.60				150.13
Instalações e outras cargas							151.09
Cargas interiores						129.09	420.91
Cargas interiores totais							550.01
Cargas devidas à própria instalação						3.0 %	14.21
FACTOR CALOR SENSÍVEL : 0.79						Cargas internas totais	129.09 487.88
Potência térmica interna total							616.98
Ventilação							
Caudal de ventilação total (m³/h)							
112.5						271.21	203.15
Cargas de ventilação						271.21	203.15
Potência térmica de ventilação total							474.36
Potência térmica						400.30	691.03
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 18.3 m²						59.6 W/m²	POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 1091.3 W

**Tabela I.6 –** Carga máxima de arrefecimento na Sala de trabalho.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)										
Compartimento			Conjunto de compartimentos							
Sala de trabalho (Sala de trabalho)			Museu							
Condições de projecto										
Internas			Externas							
Temperatura interior = 25.0 °C			Temperatura exterior = 30.3 °C							
Humidade relativa interior = 50.0 %			Temperatura húmida = 21.7 °C							
Cargas de arrefecimento às 15h (13 hora solar) do 1 de Julho								C. LATENTE (W)	C. SENSÍVEL (W)	
Envolventes exteriores										
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)				
Fachada	E	1.7	0.45	1135	Claro	28.0				
Fachada	N	10.4	0.46	631	Claro	25.5				
Fachada	W	2.9	0.92	614	Claro	26.2				
Envidraçados exteriores										
Núm. janelas	Orientaç ão	Superfície total (m²)	U (W/(m²°C))	Coef. radiação solar	Ganho (W/m²)					
1	N	16.5	3.24	0.53	38.2			630.70		
Portas exteriores										
Núm. portas	Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Teq. (°C)					
1	Opaca	W	2.5	0.90	35.6			23.86		
Coberturas										
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)					
Plana	98.9	0.26	1146	Intermédio	34.4			244.28		
Envolventes interiores										
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Teq. (°C)						
Parede interior	10.8	0.33	35	26.3						
Parede interior	23.0	0.47	34	26.6						
Abertura interior	1.9	3.59		27.6						
Abertura interior	1.9	3.59		27.6						
Total estrutural									964.89	
Ocupantes										
Actividade	Nº de pessoas	C.lat/per (W)	C.sen/per (W)							
Empregado de escritório	10	64.55	39.72					387.28	397.22	
Iluminação										
Tipo	Potência (W)	Coef. iluminação								
Fluorescente com reactância	1100.00	0.63							695.75	
Instalações e outras cargas									889.93	
Cargas interiores								387.28	1932.75	
Cargas interiores totais									2320.03	
Cargas devidas à própria instalação								3.0 %	86.93	
FACTOR CALOR SENSÍVEL : 0.89								Cargas internas totais	387.28	2984.57
Potência térmica interna total									3371.85	

<b>Ventilação</b>		
<b>Caudal de ventilação total (m³/h)</b>		
375.0	903.97	560.78
<b>Cargas de ventilação</b>	<b>903.97</b>	<b>560.78</b>
<b>Potência térmica de ventilação total</b>		<b>1464.75</b>
<b>Potência térmica</b>	<b>1291.25</b>	<b>3545.35</b>
<b>POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 98.9 m²</b>	<b>48.9 W/m²</b>	<b>POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 4836.6 W</b>

**Tabela I.7 – Carga máxima de arrefecimento no Bar/Cozinha.**

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)								
Compartmento		Conjunto de compartimentos						
Bar / cozinha (Bar / Cozinha)		Museu						
Condições de projecto								
Internas		Externas						
Temperatura interior = 25.0 °C		Temperatura exterior = 30.3 °C						
Humidade relativa interior = 50.0 %		Temperatura húmida = 21.7 °C						
Cargas de arrefecimento às 15h (13 hora solar) do 1 de Julho								
							C. LATENTE (W)	C. SENSÍVEL (W)
Envolventes exteriores								
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)		
Fachada	N	6.2	0.45	1135	Claro	26.3		
Fachada	W	50.8	0.45	1135	Claro	28.3		3.56
Fachada	E	7.0	0.50	631	Claro	25.8		75.08
Fachada	S	19.7	0.46	631	Claro	25.8		2.79
Fachada	W	7.0	0.50	631	Claro	25.7		6.79
Fachada	E	40.4	0.45	1135	Claro	27.9		2.59
Fachada	E	8.3	0.27	625	Claro	26.2		52.20
Fachada	E	6.3	0.38	624	Claro	25.9		2.64
								2.07
Envidraçados exteriores								
Núm. janelas	Orientaç ão	Superfície total (m²)	U (W/(m²°C))	Coef. radiação solar	Ganho (W/m²)			
1	N	5.8	3.38	0.53	39.0			225.63
1	W	4.8	3.42	0.52	74.4			353.63
1	S	7.2	3.43	0.52	38.9			278.25
Coberturas								
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	Teq. (°C)			
Plana	243.0	0.26	1146	Intermédio	34.4			600.25
Envolventes interiores								
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Teq. (°C)				
Parede interior	8.8	0.47	34	26.6				6.56
Parede interior	22.3	0.33	35	26.3				9.61
Abertura interior	5.4	3.59		27.6				51.37
Abertura interior	22.8	3.03		27.6				182.85
Total estrutural								1855.89



<b>Ocupantes</b>					
<b>Actividade</b>	<b>Nº de pessoas</b>	<b>C.lat/per (W)</b>	<b>C.sen/per (W)</b>		
Sentado ou de pé	50	77.34	55.00	2938.90	2749.95
<b>Iluminação</b>					
<b>Tipo</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Coef. iluminação</b>			
Fluorescente com reactância	2648.00	0.90			2372.61
<b>Instalações e outras cargas</b>					510.26
<b>Cargas interiores</b>				<b>2938.90</b>	<b>5230.78</b>
<b>Cargas interiores totais</b>					<b>8169.68</b>
<b>Cargas devidas à própria instalação</b>				3.0 %	212.60
<b>FACTOR CALOR SENSÍVEL : 0.71</b>				<b>Cargas internas totais</b>	<b>2938.90</b>
					<b>7299.26</b>
				<b>Potência térmica interna total</b>	<b>10238.17</b>
<b>Ventilação</b>					
<b>Caudal de ventilação total (m³/h)</b>					
1875.0				4519.84	2803.89
<b>Cargas de ventilação</b>				<b>4519.84</b>	<b>2803.89</b>
<b>Potência térmica de ventilação total</b>					<b>7323.73</b>
<b>Potência térmica</b>				<b>7458.74</b>	<b>10103.16</b>
<b>POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 243.0 m²</b>				<b>72.3 W/m²</b>	<b>POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 17561.9 W</b>

## 2.2 – Aquecimento

**Tabela I.8** – Carga máxima de aquecimento no Espaço de Exposições.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)						
Compartimento		Conjunto de compartimentos				
Espaço Expositivo (Espaço Expositivo)		Museu				
Condições de projecto						
Internas		Externas				
Temperatura interior = 20.0 °C		Temperatura exterior = -2.0 °C				
Humidade relativa interior = 50.0 %		Humidade relativa exterior = 90.0 %				
Cargas térmicas de aquecimento						C. SENSÍVEL (W)
Envolventes exteriores						1044.33 6.38 456.82 433.85 247.77 30.22 33.07 223.34 1125.46
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	
Fachada	N	88.6	0.45	1135	Claro	
Fachada	N	0.6	0.38	624	Claro	
Fachada	S	41.6	0.50	631	Claro	
Fachada	W	35.9	0.50	631	Claro	
Fachada	N	20.5	0.46	631	Claro	
Fachada	E	2.5	0.50	631	Claro	
Fachada	N	2.5	0.50	631	Claro	
Fachada	E	20.2	0.46	631	Claro	
Muro de cave		219.7	0.34	629		
Envidraçados exteriores						2486.17 659.27 1094.07 472.84 527.05 604.33
Núm. janelas	Orientação	Superfície total (m²)	U (W/(m²°C))			
1	N	29.4	3.20			
1	N	7.5	3.33			
1	N	12.7	3.26			
1	E	5.8	3.38			
1	N	5.9	3.38			
1	E	7.5	3.33			
Coberturas						3320.74
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor		
Plana	554.1	0.27	1146	Intermédio		
Lajes inferiores						2364.71
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)			
Laje_1	554.1	0.28	1015			
Envolventes interiores						8.54 746.44
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)			
Parede interior	1.6	0.49	390			
Abertura interior		22.4	3.03			
Total estrutural						15885.39
Cargas interiores totais						
Cargas devidas à intermitência de utilização						5.0 % 794.27
Cargas internas totais						16679.66

<b>Ventilação</b>	
<b>Caudal de ventilação total (m³/h)</b>	
8311.4	51591.73
<b>Potência térmica de ventilação total</b>	<b>51591.73</b>
<b>POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 554.1 m²</b>	<b>123.2 W/m²</b>
<b>POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL :</b>	<b>68271.4 W</b>

Tabela I.9 – Carga máxima de aquecimento nos Arrumos.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)						
Compartimento		Conjunto de compartimentos				
Arrumos (Arrumos)		Museu				
Condições de projecto						
Internas		Externas				
Temperatura interior = 20.0 °C		Temperatura exterior = -2.0 °C				
Humidade relativa interior = 50.0 %		Humidade relativa exterior = 90.0 %				
Cargas térmicas de aquecimento						C. SENSÍVEL (W)
Envolventes exteriores						84.57 138.89
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	
Fachada	N	7.2	0.45	1135	Claro	
Fachada	W	15.0	0.38	624	Claro	
Coberturas						64.69
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor		
Plana	10.8	0.27	1146	Intermédio		
Lajes inferiores						46.07
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)			
Laje_1	10.8	0.28	1015			
Total estrutural						334.22
Cargas interiores totais						
Cargas devidas à intermitência de utilização						5.0 % 16.71
Cargas internas totais						350.93
Ventilação						422.11 422.11
Caudal de ventilação total (m³/h)						
68.0						
Potência térmica de ventilação total						
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 10.8 m²		71.6 W/m²		POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 773.0 W		

**Tabela I.10** – Carga máxima de aquecimento no Auditório.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)				
Compartimento		Conjunto de compartimentos		
Auditório (Auditório)		Museu		
Condições de projecto				
Internas		Externas		
Temperatura interior = 20.0 °C		Temperatura exterior = -2.0 °C		
Humidade relativa interior = 50.0 %		Humidade relativa exterior = 90.0 %		
Cargas térmicas de aquecimento				C. SENSÍVEL (W)
Coberturas				
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor
Plana	51.6	0.27	1146	Intermédio
				309.02
Lajes inferiores				
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	
Laje_3	51.6	0.28	1020	
				220.05
Total estrutural				529.07
Cargas interiores totais				
Cargas devidas à intermitência de utilização				5.0 % 26.45
Cargas internas totais				555.52
Ventilação				
Caudal de ventilação total (m³/h)				
1950.0				12104.35
Potência térmica de ventilação total				12104.35
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 51.6 m²		245.5 W/m²		POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 12659.9 W

**Tabela I.11** – Carga máxima de aquecimento na Sala de Conservação.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)				
Compartimento		Conjunto de compartimentos		
Sala de conservação (Sala de conservação)		Museu		
Condições de projecto				
Internas		Externas		
Temperatura interior = 20.0 °C		Temperatura exterior = -2.0 °C		
Humidade relativa interior = 50.0 %		Humidade relativa exterior = 90.0 %		
Cargas térmicas de aquecimento				C. SENSÍVEL (W)
Coberturas				
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor
Plana	14.0	0.27	1146	Intermédio
				83.83
Lajes inferiores				
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	
Laje_3	14.0	0.28	1020	
				59.69
Envolventes interiores				
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	
Parede interior	10.7	0.33	35	
				38.57
Total estrutural				182.09
Cargas interiores totais				
Cargas devidas à intermitência de utilização				5.0 % 9.10
Cargas internas totais				191.19
Ventilação				
Caudal de ventilação total (m³/h)				
112.5				698.33
Potência térmica de ventilação total				698.33
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 14.0 m²		63.6 W/m²		POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 889.5 W

**Tabela I.12** – Carga máxima de aquecimento na Sala de Informática.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)				
Compartimento		Conjunto de compartimentos		
Sala de informática (Sala de Informática)		Museu		
Condições de projecto				
Internas		Externas		
Temperatura interior = 20.0 °C		Temperatura exterior = -2.0 °C		
Humidade relativa interior = 50.0 %		Humidade relativa exterior = 90.0 %		
Cargas térmicas de aquecimento				C. SENSÍVEL (W)
Coberturas				
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor
Plana	18.3	0.27	1146	Intermédio
				109.76
Lajes inferiores				
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	
Laje_3	18.3	0.28	1020	
				78.16
Envolventes interiores				
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	
Parede interior	2.4	0.49	390	
Parede interior	11.5	0.33	35	
				12.68
				41.51
Total estrutural				242.10
Cargas interiores totais				
Cargas devidas à intermitência de utilização				5.0 % 12.11
Cargas internas totais				254.21
Ventilação				
Caudal de ventilação total (m³/h)				
				698.33
112.5				
Potência térmica de ventilação total				698.33
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 18.3 m²		52.0 W/m²	POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 952.5 W	

**Tabela I.13** – Carga máxima de aquecimento na Sala de Trabalho.

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)						
Compartimento		Conjunto de compartimentos				
Sala de trabalho (Sala de trabalho)		Museu				
Condições de projecto						
Internas		Externas				
Temperatura interior = 20.0 °C		Temperatura exterior = -2.0 °C				
Humidade relativa interior = 50.0 %		Humidade relativa exterior = 90.0 %				
Cargas térmicas de aquecimento						C. SENSÍVEL (W)
Envolventes exteriores						18.41 125.17 63.98 778.11
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	
Fachada	E	1.7	0.45	1135	Claro	
Fachada	N	10.4	0.46	631	Claro	
Fachada	W	2.9	0.92	614	Claro	
Muro de cave		111.8	0.46	620		
Envidraçados exteriores						1409.66
Núm. janelas	Orientação	Superfície total (m²)	U (W/(m²°C))			
1	N	16.5	3.24			
Portas exteriores						54.43
Núm. portas	Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))		
1	Opaca	W	2.5	0.90		
Coberturas						592.62
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor		
Plana	98.9	0.27	1146	Intermédio		
Lajes inferiores						422.00
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)			
Laje_3	98.9	0.28	1020			
Envolventes interiores						26.56 38.73 118.97 75.54 75.47
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)			
Parede interior	5.0	0.49	390			
Parede interior	10.8	0.33	35			
Parede interior	23.0	0.47	34			
Abertura interior	1.9	3.59				
Abertura interior	1.9	3.59				
Total estrutural						3799.65
Cargas interiores totais						
Cargas devidas à intermitência de utilização						5.0 % 189.98
Cargas internas totais						3989.63
Ventilação						2327.76 2327.76
Caudal de ventilação total (m³/h)						
375.0						
Potência térmica de ventilação total						2327.76
POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 98.9 m²						63.9 W/m²
POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL :						6317.4 W
CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)						

CARGA MÁXIMA (COMPARTIMENTO ISOLADO)						
Compartimento		Conjunto de compartimentos				
Bar / cozinha (Bar / Cozinha)   Museu						
Condições de projecto						
Internas		Externas				
Temperatura interior = 20.0 °C		Temperatura exterior = -2.0 °C				
Humidade relativa interior = 50.0 %		Humidade relativa exterior = 90.0 %				
Cargas térmicas de aquecimento						C. SENSÍVEL (W)
Envolventes exteriores						
Tipo	Orientação	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor	
Fachada	N	6.2	0.45	1135	Claro	
Fachada	W	50.8	0.45	1135	Claro	73.31
Fachada	E	7.0	0.50	631	Claro	549.34
Fachada	S	19.7	0.46	631	Claro	84.86
Fachada	W	7.0	0.50	631	Claro	198.45
Fachada	E	40.4	0.45	1135	Claro	84.86
Fachada	E	8.3	0.27	625	Claro	436.82
Fachada	S	1.1	0.27	625	Claro	54.46
Fachada	E	6.3	0.38	624	Claro	6.58
Fachada	E	6.3	0.38	624	Claro	58.42
Muro de cave		32.4	0.46	620		225.62
Envidraçados exteriores						
Núm. janelas	Orientação	Superfície total (m²)	U (W/(m²°C))			
1	N	5.8	3.38			517.06
1	W	4.8	3.42			392.71
1	S	7.2	3.43			539.17
Coberturas						
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)	Cor		
Plana	243.0	0.27	1146	Intermédio		1456.24
Lajes inferiores						
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)			
Laje_3	243.0	0.28	1020			1036.99
Envolventes interiores						
Tipo	Superfície (m²)	U (W/(m²°C))	Peso (kg/m²)			
Parede interior	8.8	0.47	34			45.53
Parede interior	1.2	0.49	390			6.51
Parede interior	22.3	0.33	35			80.23
Abertura interior	5.4	3.59				213.25
Abertura interior	22.8	3.03				759.01
Total estrutural						6819.43
Cargas interiores totais						
Cargas devidas à intermitência de utilização						5.0 % 340.97
Cargas internas totais						7160.40



<b>Ventilação</b>		
<b>Caudal de ventilação total (m³/h)</b>		
1875.0		11638.80
<b>Potência térmica de ventilação total</b>		<b>11638.80</b>
<b>POTÊNCIA TÉRMICA POR SUPERFÍCIE 243.0 m²</b>	<b>77.4 W/m²</b>	<b>POTÊNCIA TÉRMICA TOTAL : 18799.2 W</b>

### 3 – RESUMO DOS RESULTADOS DE CÁLCULO DOS COMPARTIMENTOS

#### 3.1 – Arrefecimento

**Tabela I.15** – Resumo dos resultados de cálculo das cargas térmicas de arrefecimento.

Recinto	Subtotais			Carga interna		Ventilação			Potência térmica		
	Estrutural (W)	Sensível interior (W)	Total interior (W)	Sensível (W)	Total (W)	Caudal (m³/h)	Sensível (W)	Carga total (W)	Por superfície (W/m²)	Sensível (W)	Total (W)
Espaço Expositivo	4297.88	7161.10	10259.34	11802.75	14900.99	8311.38	12428.92	32464.15	85.48	24231.67	47365.14
Arrumos	35.65	103.24	167.78	143.06	207.60	68.00	101.69	265.61	43.84	244.75	473.22
Auditório	127.38	3630.65	6941.72	3870.77	7181.83	1950.00	2916.05	7616.68	287.01	6786.82	14798.51
Sala de conservação	41.55	385.22	514.32	439.58	568.67	112.50	203.15	474.36	74.57	642.73	1043.03
Sala de informática	52.76	420.91	550.01	487.88	616.98	112.50	203.15	474.36	59.59	691.03	1091.34
Sala de trabalho	964.89	1932.75	2320.03	2984.57	3371.85	375.00	560.78	1464.75	48.91	3545.35	4836.59
Bar / cozinha	1855.89	5230.78	8169.68	7299.26	10238.17	1875.00	2803.89	7323.73	72.28	10103.16	17561.89
<b>Total</b>						<b>12804.4</b>					
<b>Carga total simultânea</b>											<b>87134.8</b>

#### 3.2 – Aquecimento

**Tabela I.16** – Resumo dos resultados de cálculo das cargas térmicas de aquecimento.

Recinto	Planta	Carga interna sensível (W)	Ventilação		Potência	
			Caudal (m³/h)	Carga total (W)	Por superfície (W/m²)	Total (W)
Espaço Expositivo	Rés-do-chão	16679.66	8311.38	51591.73	123.21	68271.40
Arrumos	Rés-do-chão	350.93	68.00	422.11	71.62	773.03
Auditório	Rés-do-chão	555.52	1950.00	12104.35	245.53	12659.88
Sala de conservação	Rés-do-chão	191.19	112.50	698.33	63.59	889.52
Sala de informática	Rés-do-chão	254.21	112.50	698.33	52.01	952.54
Sala de trabalho	Rés-do-chão	3989.63	375.00	2327.76	63.89	6317.39
Bar / cozinha	Rés-do-chão	7160.40	1875.00	11638.80	77.37	18799.20
<b>Total</b>			<b>12804.4</b>			
<b>Carga térmica simultânea</b>						<b>108663.0</b>

**4 – RESUMO DOS RESULTADOS PARA CONJUNTOS DE COMPARTIMENTOS****Tabela I.17** – Resumo dos resultados das cargas térmicas de arrefecimento do Museu.

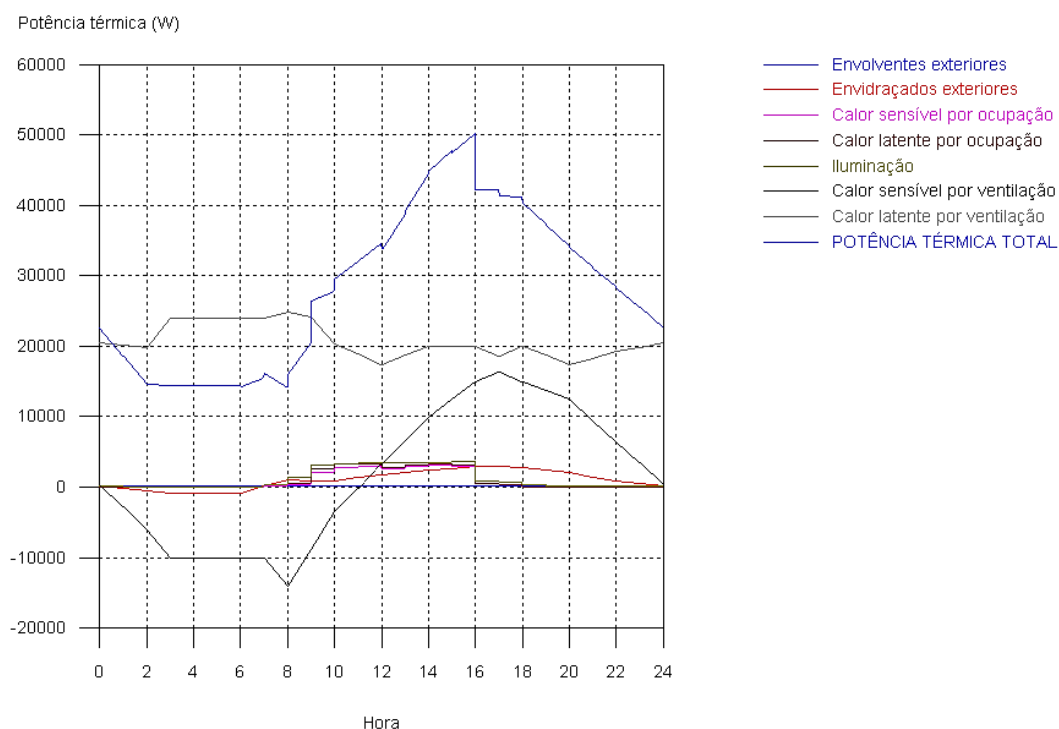
<b>Arrefecimento</b>		
Conjunto	Potência por superfície (W/m <sup>2</sup> )	Potência total (W)
Museu	80.5	87134.8

**Tabela I.18** – Resumo dos resultados das cargas térmicas de aquecimento do Museu.

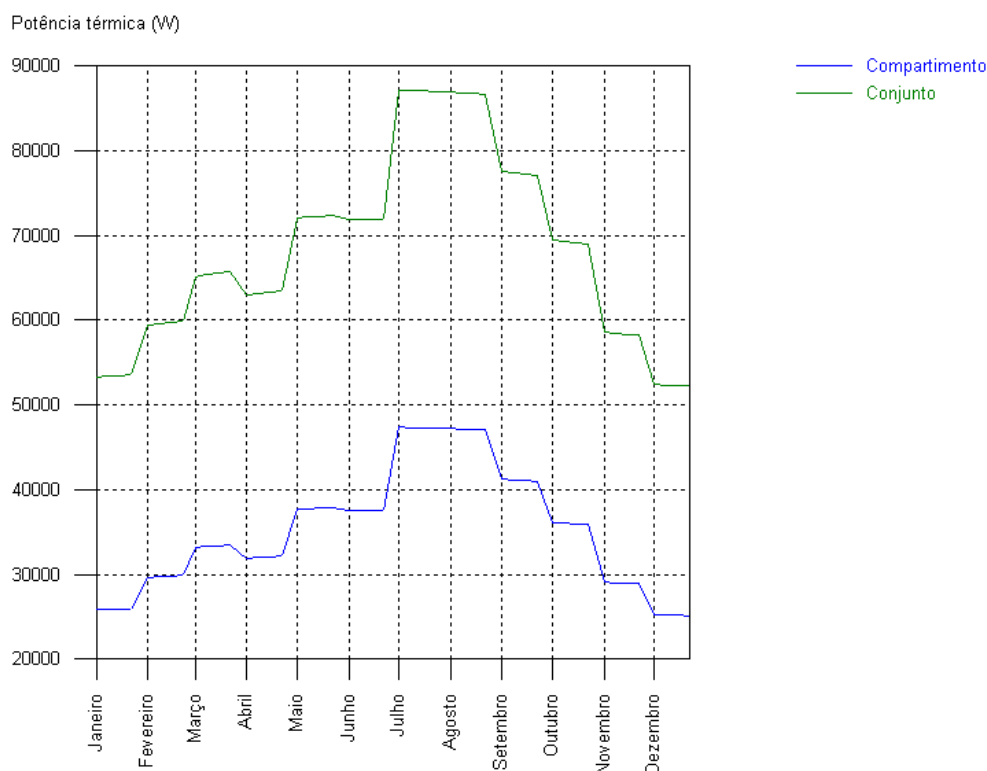
<b>Aquecimento</b>		
Conjunto	Potência por superfície (W/m <sup>2</sup> )	Potência total (W)
Museu	100.4	108663.0

## 5 – EVOLUÇÃO POR HORAS E ANUAL DA POTÊNCIA TÉRMICA

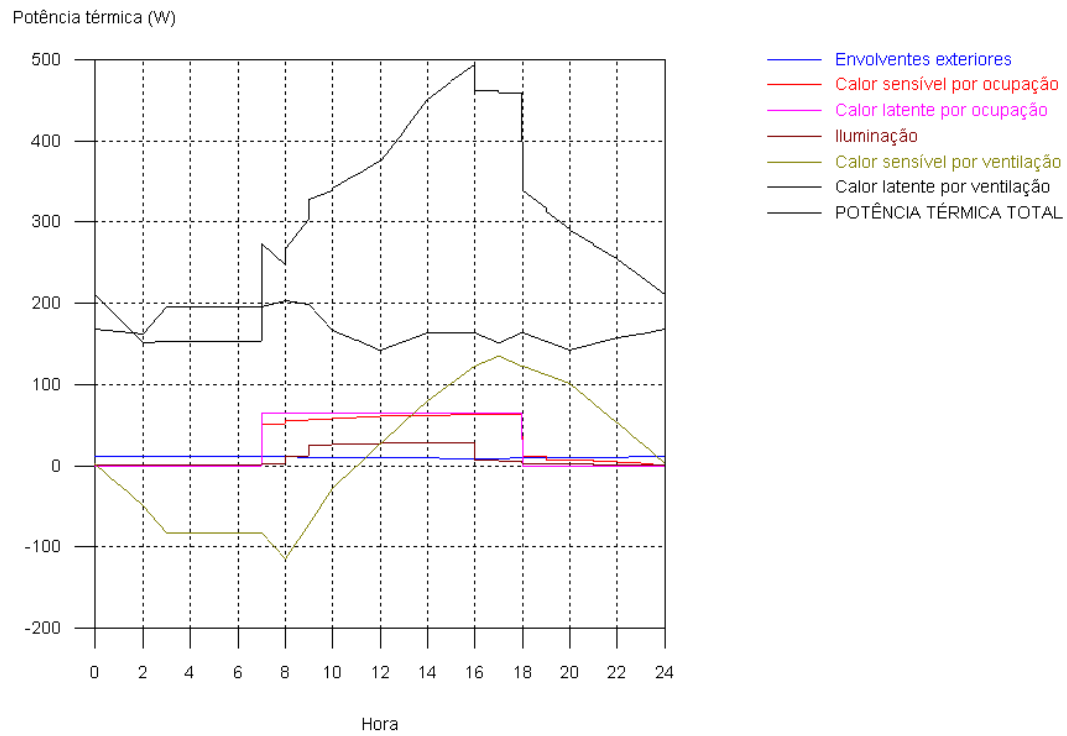
### 5.1 – Sala de Exposições



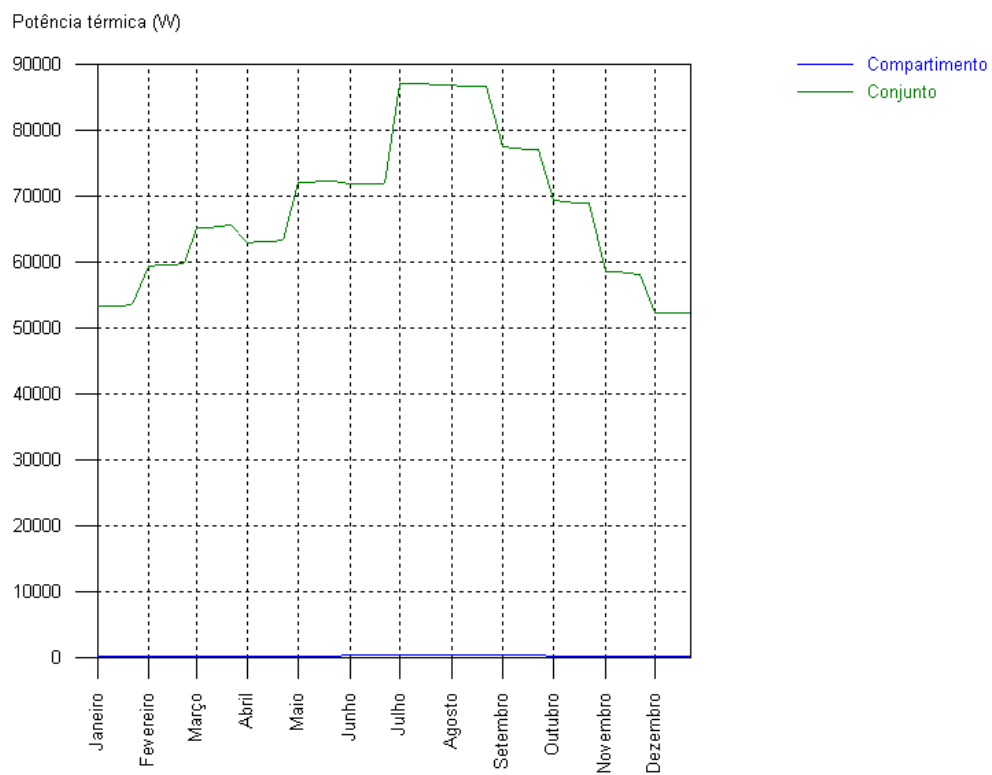
**Figura I.1** – Evolução horária da potência térmica na Sala de Exposições.



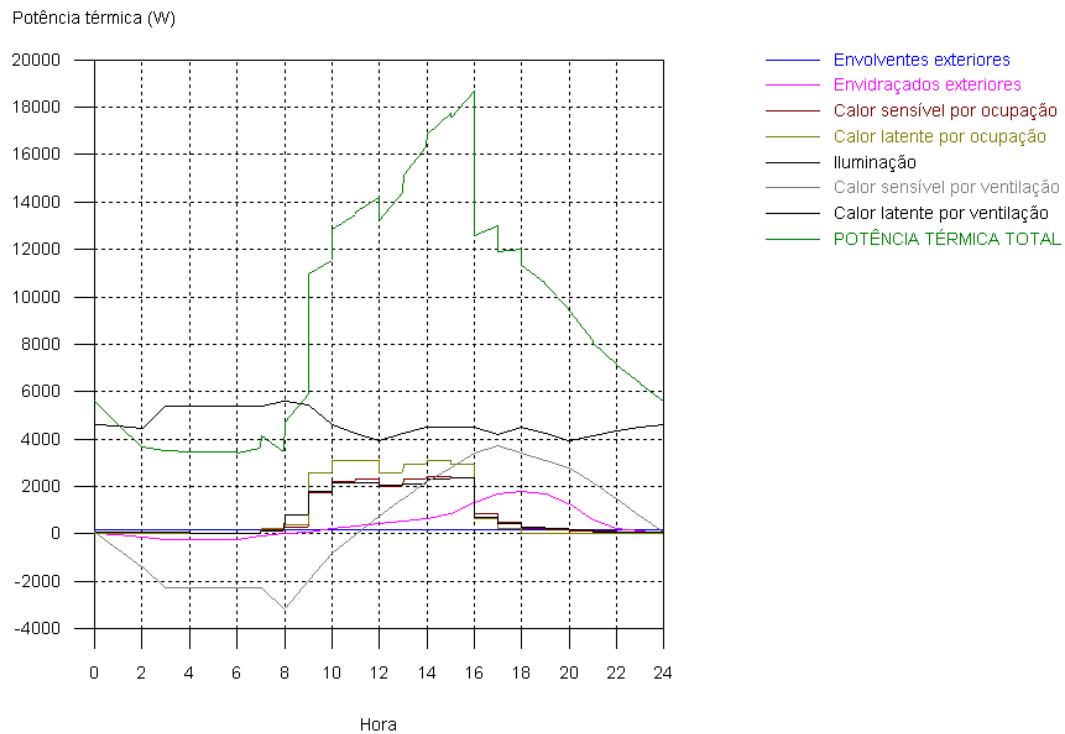
**Figura I.2** – Evolução anual da potência térmica na Sala de Exposições.



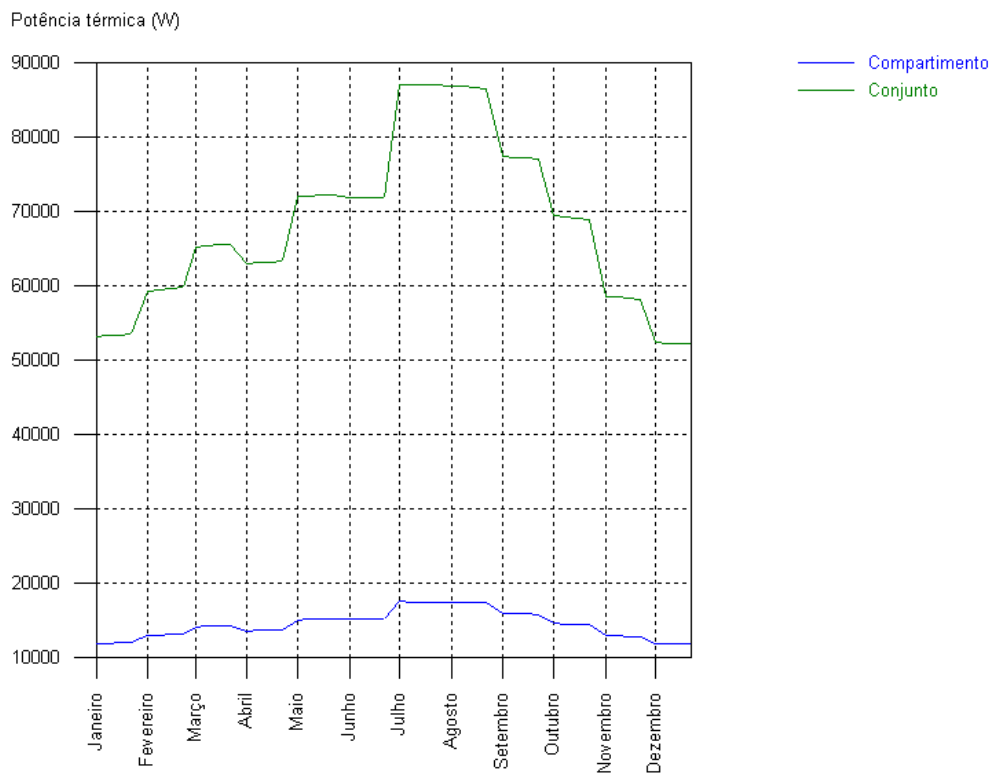
**Figura I.3** – Evolução horária da potência térmica nos Arrumos.



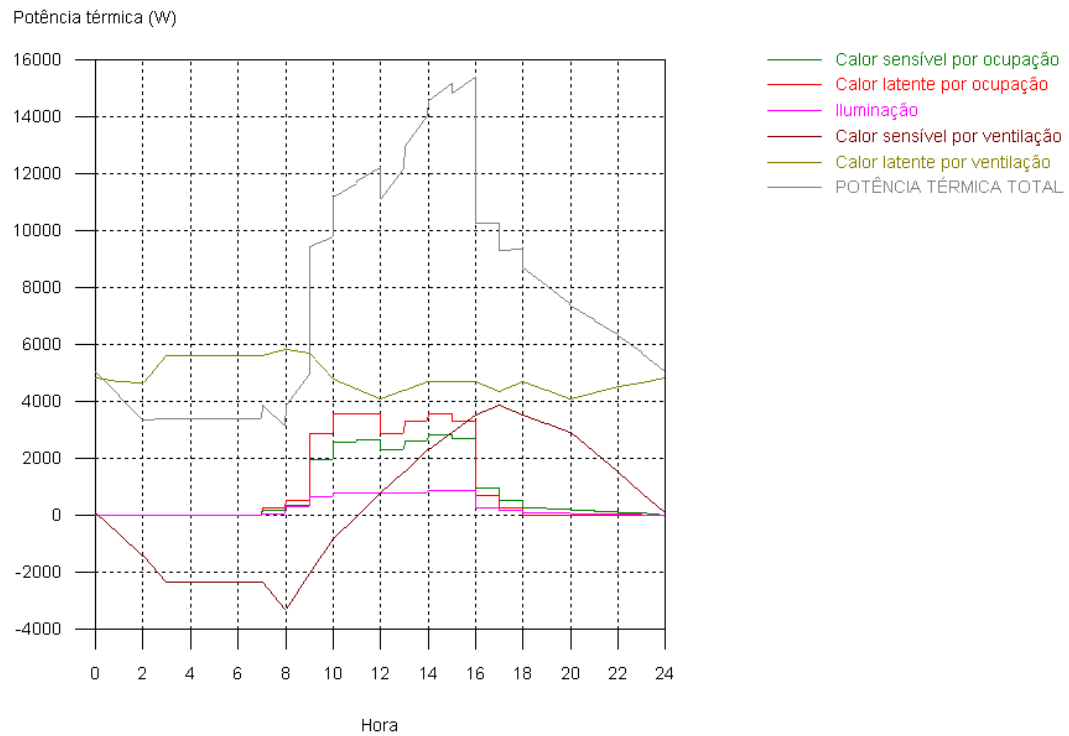
**Figura I.4** – Evolução anual da potência térmica nos Arrumos.



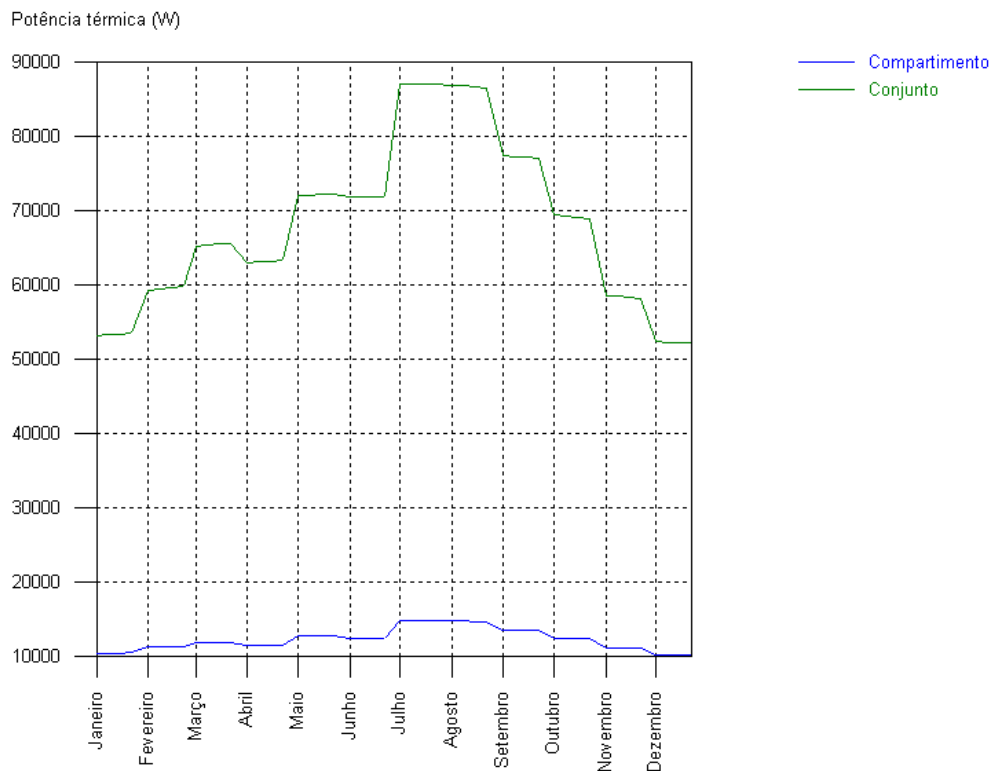
**Figura I.5** – Evolução horária da potência térmica no Bar/Cozinha.



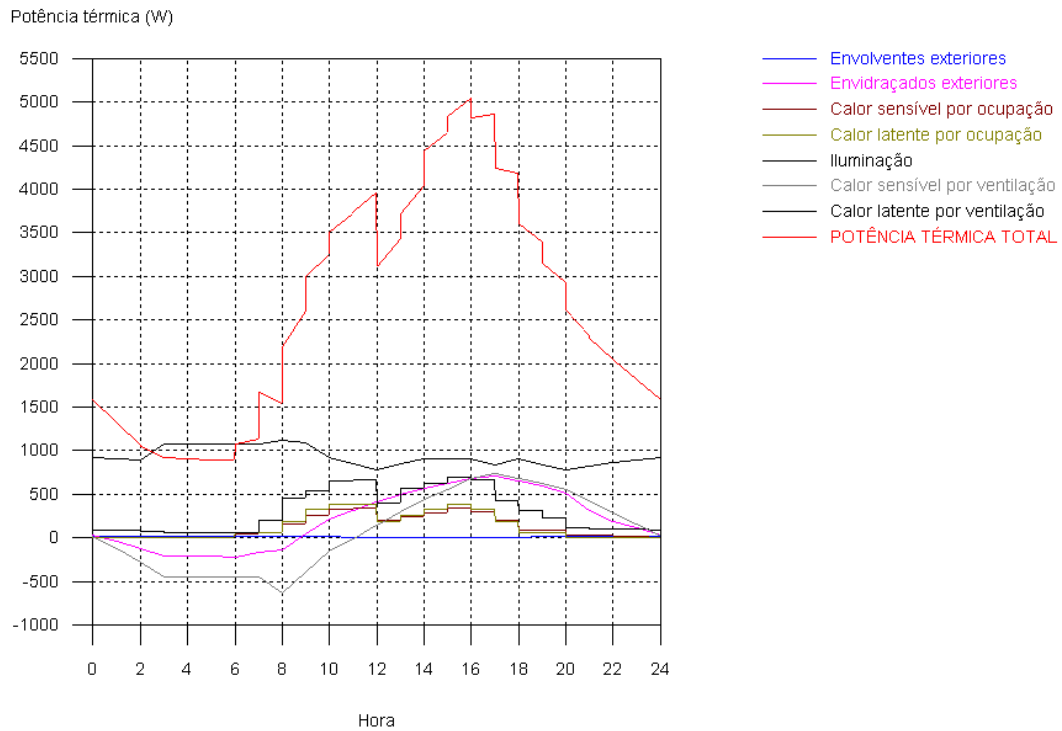
**Figura I.6** – Evolução anual da potência térmica no Bar/Cozinha.



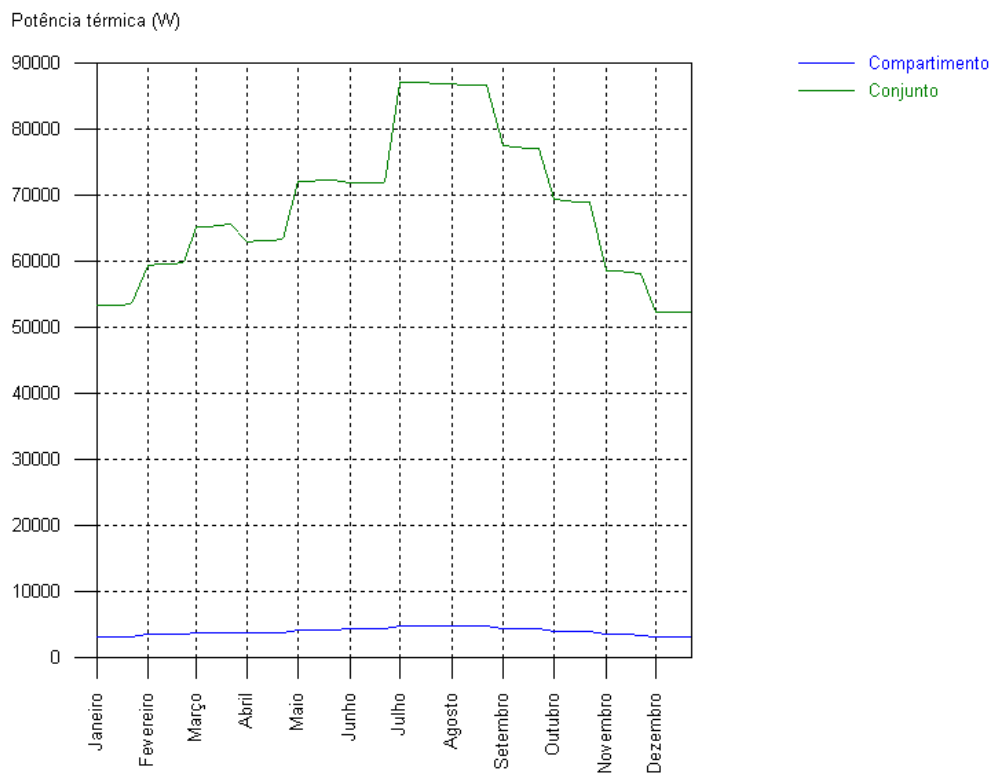
**Figura I.7** – Evolução horária da potência térmica no Auditório.



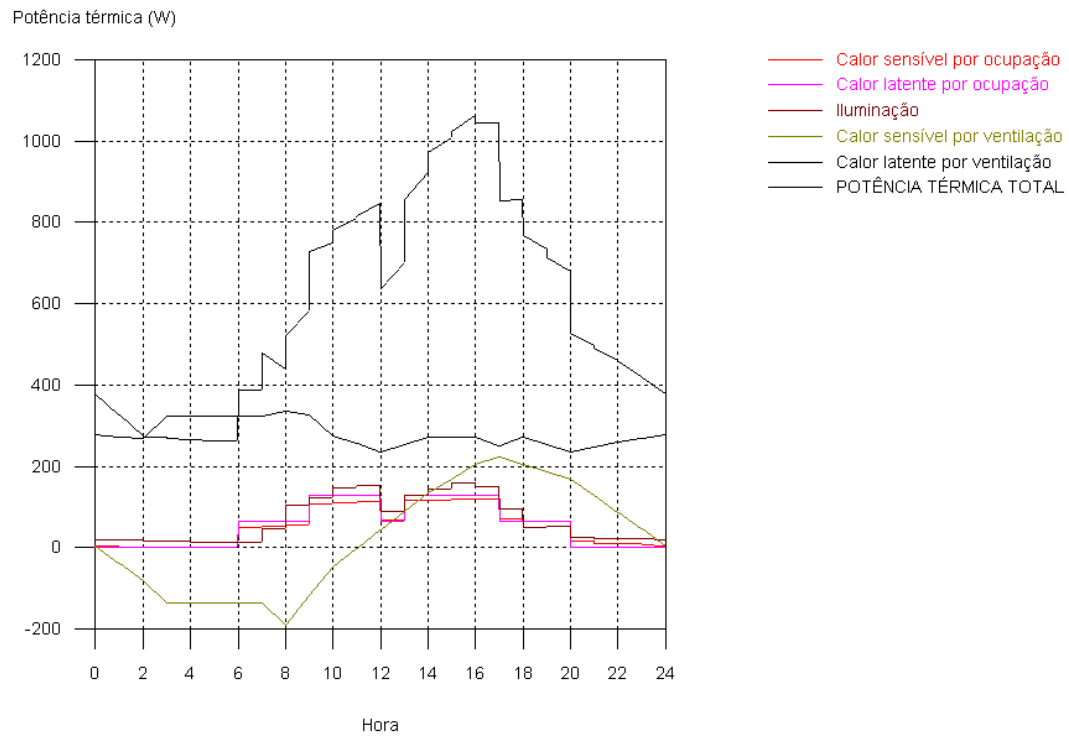
**Figura I.8** – Evolução anual da potência térmica no Auditório.



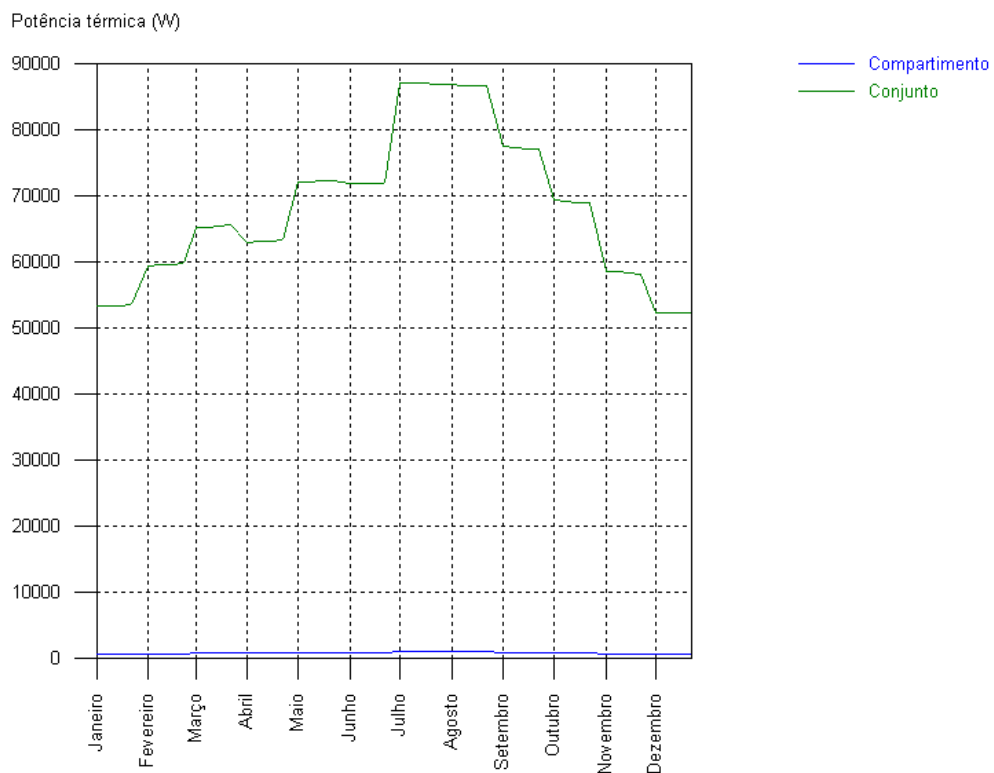
**Figura I.9** – Evolução horária da potência térmica na Sala de trabalho.



**Figura I.10** – Evolução anual da potência térmica na Sala de trabalho.

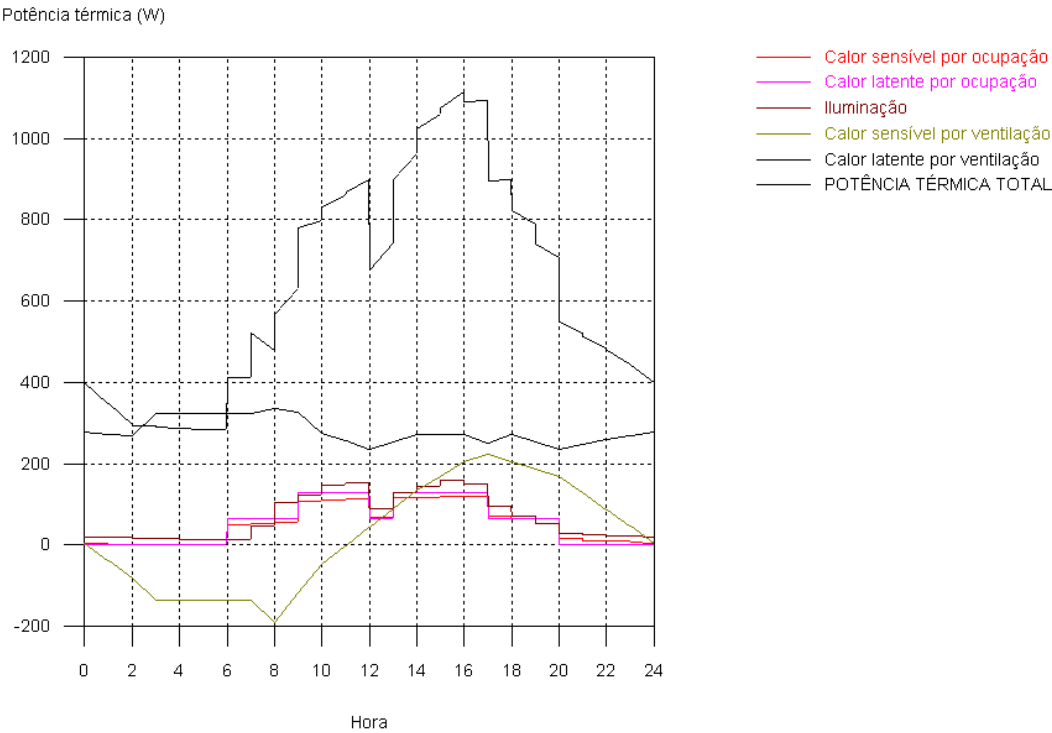


**Figura I.11** – Evolução horária da potência térmica na Sala de conservação.

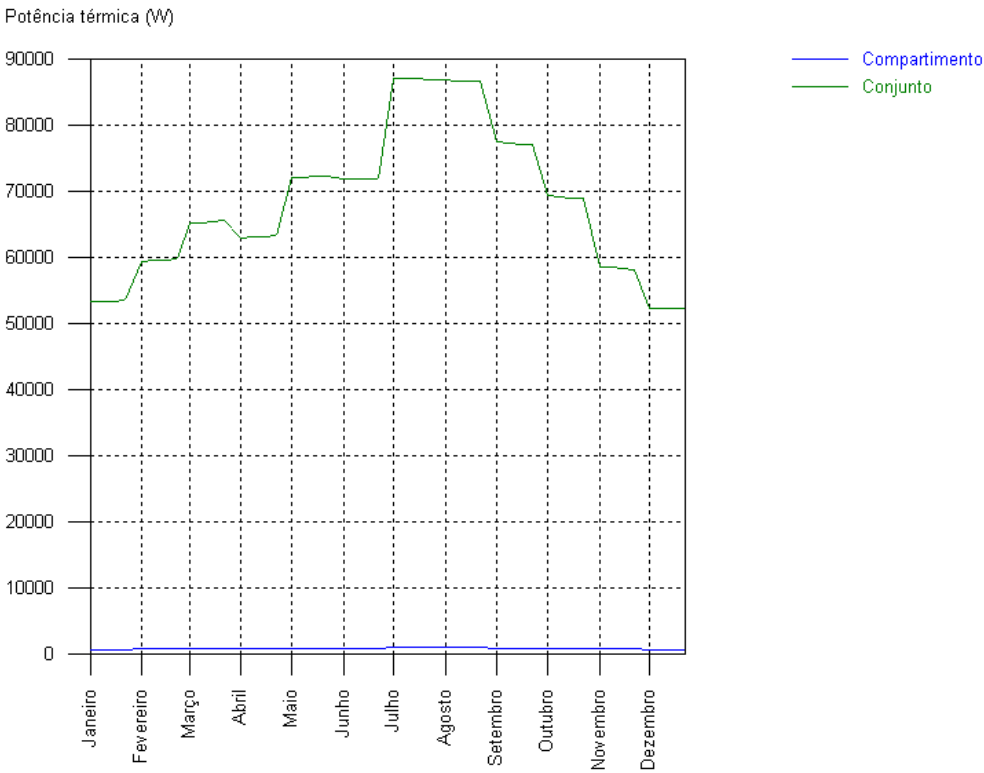


**Figura I.12** – Evolução anual da potência térmica na Sala de conservação.





**Figura I.13** – Evolução horária da potência térmica na Sala de informática.



**Figura I.14** – Evolução anual da potência térmica na Sala de informática.